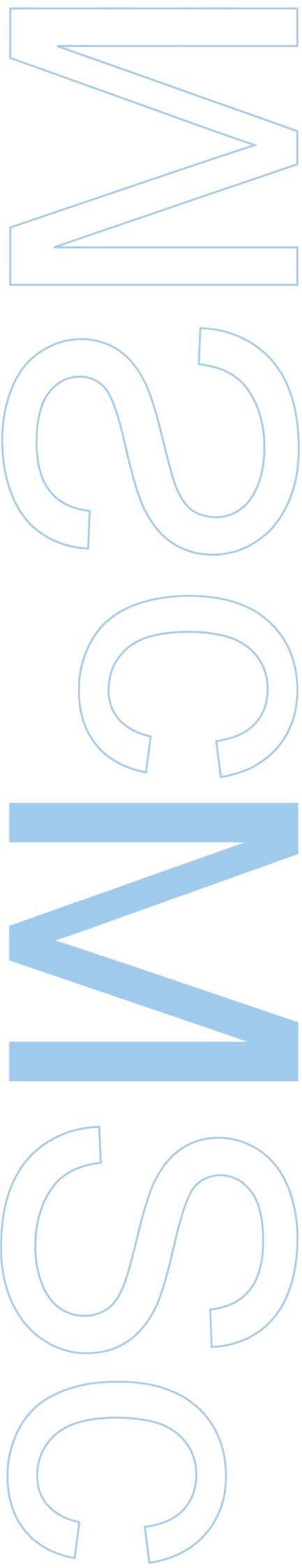


**Extração de Informação
Geográfica a partir de Fotografias
Aéreas obtidas com VANTs para
apoio a um SIG Municipal**

Arcádio Joaquim Roberto
2013



Extração de Informação Geográfica a partir de Fotografias Aéreas obtidas com VANTs para apoio a um SIG Municipal

Arcádio Joaquim Roberto

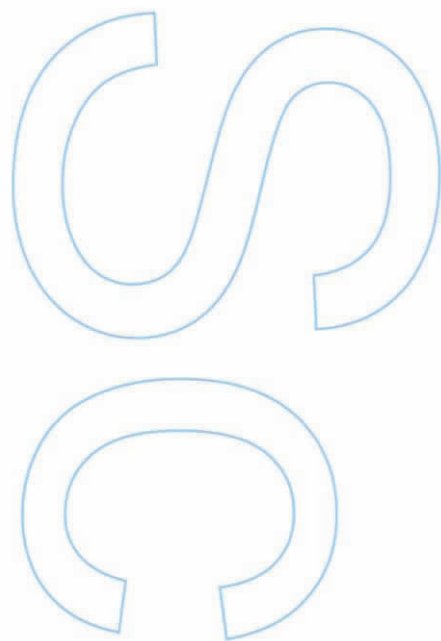
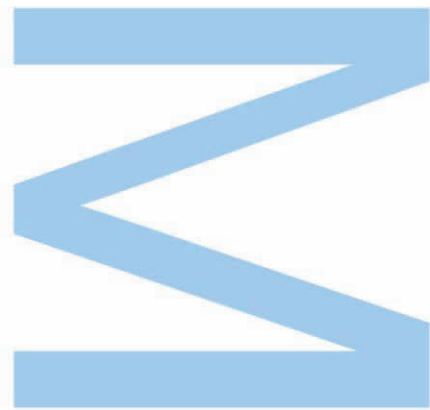
Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica

Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território

2013

Orientador

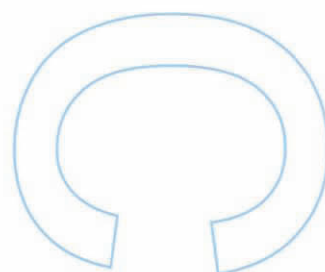
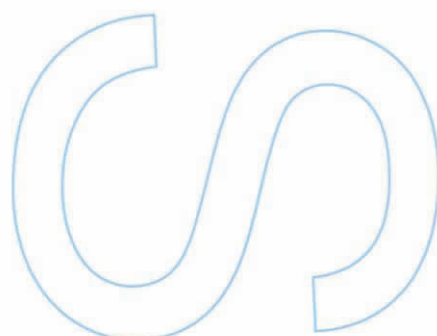
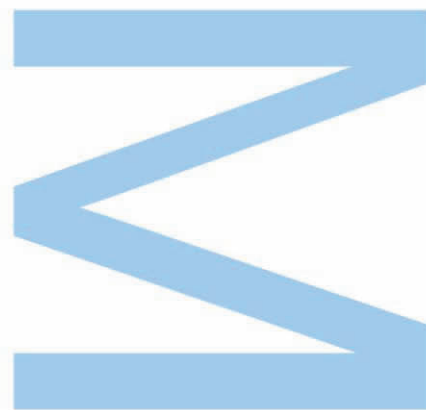
José Alberto Gonçalves, Professor Auxiliar, Faculdade de Ciências da
Universidade do Porto





Todas as correções determinadas
pelo júri, e só essas, foram efetuadas.
O Presidente do Júri,

Porto, ____/____/____



Agradecimentos

A realizao deste trabalho s foi possvel devido a contribuio, direta ou indireta de diversas pessoas e instituies. Manifesto aqui os meus sinceros agradecimentos em especial:

Ao projeto Erasmus Mundus, pela bolsa de estudo concedida para frequentar o curso de mestrado. Pois est mobilidade no s permitiu-me adquirir conhecimentos acadmicos mas tambm conhecer outras culturas.

Ao meu orientador, Professor Doutor Jos Alberto Goncalves, pela orientao, pacincia e dedicao demonstrada ao longo deste trabalho e durante o perodo de formao.

À empresa Sinfic. SA, por ter fornecido as fotografias aereas obtidas por veculos aereos no tripulados, que serviram de base para elaborao deste trabalho.

Ao Instituto de Geodesia e Cartografia de Angola, por fornecer os ortofotos e carta topogrfica a escala 1/100000 da rea de estudo.

A todos professores do curso de mestrado em Sistemas de Informao Geogrfica, pela pacincia e dedicao prestada ao longo deste perodo de formao.

Aos meus colegas do curso de mestrado, nomeadamente: Augusto Vidal, Arley Pinto, Bento Martins, Diogo Sampaio, Mrio Maia e Srgio Santos, obrigado, pelo apoio prestada ao longo do curso.

Aos meus familiares pela ajuda incondicional prestada ao longo destes anos formao.

Um agradecimento especial a minha esposa Suzana Roberto e a minha filha Aline Roberto por terem suportado a minha ausncia durante este perodo de formao.

Resumo

O objetivo deste trabalho é propor uma metodologia de extração de informação geográfica georreferenciada e atualizada a partir de fotografias aéreas obtidas com veículos aéreos não tripulados (VANTs). Os VANTs representam atualmente um dos equipamentos extremamente potentes e flexíveis em obter imagens aéreas em determinadas altitudes. Estas imagens oferecem grande nível de detalhe e precisão que podem ser incorporados em um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Para este trabalho foi usado um VANT do tipo micro (peso inferior a 5kg). As imagens obtidas foram processadas com software Agisoft Photoscan, com base nas técnicas de processamento fotogramétrico de fotografias aéreas que envolvem as seguintes fases: orientação interna, orientação externa, triangulação aérea.

O processamento foi efetuado com base em duas abordagens; a primeira abordagem consistiu em orientar as imagens com base nos dados provenientes da aeronave (X,Y,Z,pitch roll, heading), enquanto a segunda consistiu em usar pontos de controlo obtidos por levantamento GPS e extraídos a partir de um ortofoto. Como resultado deste processamento foram obtidos os seguintes resultados: ortofoto e o Modelo Digital de Elevação (DEM) da área de estudo.

A partir do ortofoto obtido no processamento, efetuou-se a extração de informação geográfica georreferenciada por meio dos seguintes métodos: vetorização manual e extração automática (classificação temática). O processo de vetorização manual consistiu em extrair relacionada com as edificações (antigas, novas e inacabadas), rede viária, linha de caminho-de-ferro. Estas informações foram introduzidas em uma base de dados geográfica (Geodatabase) em forma de camadas (layers).

Para atualização da cartografia da área de estudo foi usado um ortofoto de 2011 obtido por processo fotogramétrico convencional e com o ortofoto obtido por meio de imagens obtidas com VANTs.

Em relação a avaliação da qualidade planimétrica e altimétrica do produto obtido, fez-se análise de tendências de deslocamentos das discrepâncias das coordenadas X,Y, e para avaliar a precisão determinou-se o RMS para cada um dos produtos obtidos.

Palavra-chave: VANTs, Fotogrametria, DEM, Ortofoto, SIG, Atualização Cartográfica.

Abstract

The objective of this work is to propose a method of extracting geographical information georeferenced and updated from aerial photographs obtained with unmanned aerial vehicles (UAV). UAV represent the powerful extremely equipment and flexible in obtaining aerial imagery in determinate altitudes. These images offer great level of detail and accuracy that be incorporated in Geographic Information System (GIS).

For this work we used a kind of micro UAV (weight less than 5kg). The images were processed with software Agisoft Photoscan based on photogrammetric processing techniques of aerial photographs involving the following stages: internal orientation, external orientation, aerial triangulation.

Image processing was performed based on two approaches; The first approach consisted of guiding images based on data from the aircraft (X, Y, Z, pitch, roll, heading), and the second consisted in using control points obtained by the GPS survey and extracted from an orthophoto. As a result of this process we obtained the following results: Orthophoto and Digital Elevation (DEM) of the study area.

From the obtained orthophoto, the extraction of georeferenced spatial information was performed through the following methods: manual vectorization and automatic extraction(thematic classification). The process of manual vectorization consisted in extracting related to buildings (old, new and unfinished), roads, railway line railways. This information was introduced into a geographic database (geodatabase) as layers.

Regarding the assessment of the quality planimetric and altimetric the product , it was trending displacement discrepancies coordinates X , Y , and to assess the accuracy determined the RMS for each of the products obtained.

Keyword: UAVs, Photogrammetry, DEM, Orthophoto, GIS, Cartography Update

ndice

Agradecimentos	iii
Resumo	iv
Abstract	v
ndice de Figuras	ix
ndice de Tabelas	xi
Lista de Acrnimos	xii
Capítulo 1	1
1.1 Introduo	1
1.2.1 Objetivo Geral	2
1.2.2 Objetivos Especficos	2
1.2 Contextualizao	3
1.3 Estrutura da Tese	4
Capítulo 2	5
2.1 Fundamentao Teórica	5
2.1.1 Definio VANTs	5
2.1.2 Surgimento dos VANTs	6
2.1.3 Vantagens dos VANTs	9
2.1.4 Desvantagens dos VANTs	10
2.1.5 Aplicaes dos Veculos Aereos no Tripulados	11
2.2 Classificao dos VANTs	14
2.3 Viabilidade legal dos veculos Aereos no tripulados	15
2.4 Comparao entre os veculos aereos no tripulados e outras plataformas de Deteco Remota	17
Capítulo 3	19
3.1 Integrao da Fotogrametria Digital nos Sistemas de Informao Geogrfica	19
3.2 Aplicaes Fotogramtricas nos Sistemas de informao geogrfica	21
3.3 Criao da Base de Dados Geogrfica SIG	21
3.4 Avaliao de qualidade dos dados nos Sistemas de Informao geogrfica	24

3.4.1 Anlise de tendncias da imagem	27
3.4.2 Aplicao dos SIGs em situaes de rpido crescimento urbano	28
3.4.3 Situao Atual em Angola	29
3.4.4 Situao da Cartografia em Angola	29
Capítulo 4	32
4.1 Introduo	32
4.1.2 Metodologia de trabalho	32
4.1.3 Caracterizao da rea de Estudo	34
4.1.4 Material utilizado no trabalho	35
4.2 Aquisio dos Dados VANT	36
4.2.1 Aquisio das imagens VANT	38
4.3 Processamento das imagens VANT	42
4.3.2 Orientao das Imagens	44
4.3.3 Processamento das imagens com software Agisoft Photoscan	45
4.3.4 Processamento das imagens de Malanje	46
4.3.4 Processamento das imagens de Coimbra (Validao da metodologia)	50
4.3.5 Produtos obtidos do processamento das imagens VANT	52
4.4 Extrao de informao geogrfica a partir do Ortofoto (Malanje)	53
4.4.2 Atualizao da cartografia da rea de estudo	56
4.4.3 Solues SIG para Administrao Municipal em Angola	58
4.4.4 Base de Dados Cartogrfica Utilizada	59
Capítulo 5	61
5.1 Introduo	61
5.2 Anlise dos Resultados	61
5.3 Avaliao posicional	66
5.4 Avaliao da anlise de tendncias	71
Capítulo 6	73
6.1 Concluses	73
6.2 Recomendaoes	74

6.4 Referências Bibliográficas	75
Anexos	79

Índice de Figuras

Figura 1 - Componentes de um Sistema VANT. Adaptado de (Fahlstron and Gleason 2012)	6
Figura 2 - VANT Kettering Bug(fonte:(Fahlstron and Gleason 2012))	7
Figura 3 - Aeromodelo Rádio-controlado utilizado por Przybila (1979) para obtenção de fotografias aéreas.....	8
Figura 4 - VANTs para uso em aplicaões civis adaptado (Eisenbeiss 2009) e (Everaerts 2008, Longhitano 2010)	9
Figura 5 - áreas de aplicao dos veculos aéreos não tripulados: 1) aplicao florestal;2) Inspeção de Oleodutos;3) Monitoramento de incêndios;4 Contagem de animais (elefantes);5) cadastro urbano;6) Deslizamento de terra.....	12
Figura 6 - Pormenor do Ortofoto da cidade de Malanje	20
Figura 7 - conversão de informao raster para vetorial	23
Figura 8 - Variao da populao de Malanje de 1985 a 2010	29
Figura 9 - Fluxograma da metodologia de trabalho	33
Figura 10 - Localizao da área de estudo	35
Figura 11 - Sistema VANT usado no trabalho (Swinglet)	37
Figura 12 - Camara fotografica digital	38
Figura 13 - Plano de voo e tomadas das fotografias	40
Figura 14 - Fluxograma de Processamento das imagens VANT. adaptado(Tahar and Ahmad 2011).....	43
Figura 15 - Fluxograma da Georreferenciação das imagens.....	44
Figura 16 - Identificao de pontos homólogos (Matching) entre as fotografias 2960 e 2960.....	46
Figura 17 - Pontos de control sobrepostos ao ortofoto	47
Figura 18 - Pontos de controlo sobre o ortofoto(Malanje)	49
Figura 19 - Pontos de controlo sobre o ortofoto(Coimbra)	51
Figura 20 - Pormenor do ortofoto com objetos "desfocados"	53
Figura 21 - Pormenor da extração de informao pelo método da vetorizao	54

Figura 22 - Pormenor da extração automática da cobertura da vegetação.....	55
Figura 23 - Fluxograma das fases de atualizao da cartografia.....	57
Figura 24 - Pormenor do mapa de atualizao da cartografia.....	58
Figura 25 - Informao contida na base de dados.....	60
Figura 26 - DEM e Ortofoto obtidos sem pontos de controlo (Malanje)	61
Figura 27 - DEM e Ortofoto obtidos com pontos de controlo extraídos do ortofoto de 2011 (Malanje)	62
Figura 28 - DEM e Ortofoto obtidos com pontos de controlo extraídos do GoogleEarth	63
Figura 29 - DEM e Ortofoto obtidos com pontos de controlo com GPS(Coimbra)	65
Figura 30 - Comparao do RMS das coordenadas planimétricas dos pontos de verificao.....	67
Figura 31 - Comparao do RMS altimétrico dos pontos de verificao	68
Figura 32 - RMS planimétrico dos pontos de verificao.....	69
Figura 33 - RMS altimétrico dos pontos de verificao	69
Figura 34 - Sobreposio do ortofoto de 2011 e o ortofoto obtido com pontos de controlo extraídos do GoogleEarth	72

ndice de Tabelas

Tabela 1 - Classificao dos VANTS	14
Tabela 2 - Especificaes dos Satélites. Fonte: http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors.html (adapt.)	17
Tabela 3 - Preciso planimtrica (ASPRS 1990)	26
Tabela 4 - Dados do ortofoto 2011	36
Tabela 5 - Especificaes da camara fotografica	38
Tabela 6 - Dados provenientes do VANT	41
Tabela 7 - Coordenadas planimtricas e altimtricas extraídas do ortofoto de 2011 ...	48
Tabela 8 - Coordenadas planimtricas e altimtricas extraídas do Googleearth	50
Tabela 9 - Pontos de controlo obtidos com GPS (Coimbra)	51
Tabela 10 - Erro mdio quadrático da posio da camara.....	62
Tabela 11 - Resduos dos pontos de controlo extraídos do ortofoto de 2011	63
Tabela 12 - Resduos dos pontos de controlo extraídos do GoogleEarth.....	64
Tabela 13 - Resduos dos pontos obtidos com GPS.....	65
Tabela 14 - Resultados planimtrico	70
Tabela 15 - Resultados altimtricos	71
Tabela 16 - Resultados da anlise de tendncias	72
Tabela 17 - Resultados do processamento das imagens	73

Lista de Acrnimos

DEM	Digital Elevation Model
DGPS	Differential Global Positioning System
ESRI	Environmental Systems Research Institute
ETRS89	European Terrestrial Reference System 1989
EXIF	Exchangeable image file format
GCP	Ground Control Point
GPS	Global Positioning System
GSD	Ground Sample Distance
IGCA	Instituto de Geodesia e Cartografia de Angola
IGP	Instituto Geogrfico Portugus
IMU	Inertial Measurement Unit
INAVIC	Instituto Nacional da Aviao Civil
INS	Inertial Navigation System
JAA	Joint Aviation Authorities
JPEG	Joint Photographic Experts Group
KML	Keyhole Markup Language
RAM	Random Access Memory
RGB	Red, Green, and Blue
RMS	Root Mean Square
RMSE	Root Mean Square error
RMSEH	Root Mean Square error Height
RMSEP	Root Mean Square error Planimetric

SGBD	Sistema de Gestão de Base de Dados
SHP	Shapefile
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
SQL	Strutured query Language
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
VANT	Veículo aéreo não tripulado
WGS84	World Geodetic System1984

Capítulo 1

1.1 Introduo

O espao geogrfico encontra-se em constantes mudanas, seja por interferncia de fenmenos naturais ou pela ao do homem. Geralmente estas mudanas so sempre mais rpidas que o processo de produo cartogrfica. Este processo durante muitos anos tem sido realizado por tcnicas das Fotogrametria e Deteco Remota. Devido a algumas caractersticas destas tcnicas, principalmente em termos de cobertura da rea a ser levantada e resoluo temporal, tornam-se inviveis para cobertura de pequenas reas, pois o custo inerentes a este tipo de trabalho no justifica.

Como alternativas surgiram no mercado para aplicaes de mapeamento, a tecnologia de veculos aereos no tripulados (VANTs). Esta tecnologia proporciona baixo custo de aquisio de dados e alta qualidade geomtrica, assim como que permite que os resultados sejam integrao em Sistemas de Informao Geogrfica (Tahar 2012). Os VANTs, pode ser usados para diversas aplicaes tal como, documentao arqueolgica, agricultura de preciso, cadastro de propriedades, segurana e outras aplicaes (Eisenbeiss 2009).

Como resultado obtem-se: ortofoto e um modelo digital de elevao. Com o ortofoto gerado a partir do processamento das imagens VANTs, possvel aplicar tcnicas de extrao de informao geogrfica. A extrao de informao geogrfica pode ser realizada por meio de tcnicas tradicionais de extrao automtica de informao baseando-se em classificadores digitais ou meio da vectorizao manual (Santos, Freire et al. 2010).

Deste modo, estas tcnicas de extrao de informao sobre ortofotos podem ser usadas por exemplo com a finalidade de avaliao do crescimento urbano de uma rea ou ainda a deteco de alteraes ocorridas. Os resultados provenientes destes processos podem ser analisados em ambiente SIG e posteriormente integrados numa base de dados geogrficos, permitindo desta forma a gesto e atualizao da informao nela contida.

No presente trabalho alm da abordagem que se faz sobre o processamento das imagens VANT, pretendeu-se que os resultados obtidos fossem integrados numa base de dados geogrfica municipal, permitindo nesta forma atualizao sempre que for necessrio.

A elaborao deste trabalho justifica-se pelo fato das imagens obtidas por meio de VANT serem atualmente usadas para o mapeamento em diversas situaes. Para o nosso caso em particular a rea de estudo sofreu uma dinmica muito grande em termos de expanso urbana nos ltimos anos, que no foi acompanhada com a produo de cartografia atualizada. Por outro lado a existncia das imagens obtidas por meio VANT da rea de estudo constitui um elemento fundamental para elaborao deste trabalho.

1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral propor uma metodologia de extrao de informao geogrfica georreferenciada e atualizada a partir de fotografias aereas obtidas com veculos aereos no tripulados (VANT), para servir de apoio a um Sistema de Informao Geogrfica Municipal para a cidade de Malanje em Angola. Pretende-se destacar a importncia de utilizao destas imagens em reas de rpido crescimento urbano.

1.2.2 Objetivos Especficos

- Implementar uma metodologia de extrao de informao geogrfica a partir de imagens obtidas por VANT.
- Georreferenciar as imagens obtidas por VANT de forma automtica baseados nos dados do sensores GPS/INS e pontos de controlo.
- Avaliar a qualidade posicional e geomtrica das imagens obtidas com VANT
- Avaliar a preciso e resoluo dos produtos fotogramtricos (DEM e Ortofoto) obtidos com e sem pontos de controlo.
- Atualizar cartograficamente a rea de estudo utilizando ortofotos obtidas a partir das imagens VANT.
- Extrao de informao geogrfica secundria a partir das ortofotos e sua integrao em base de dados SIG Municipal

1.2 Contextualização

A utilização de fotografias aéreas obtidas por processo fotogramétrico convencional ou digital tem mostrado grande eficiência na resolução de vários problemas relacionados com o espaço geográfico.

A representação do espaço geográfico por meio de imagens obtidas por sensores em plataformas orbitais ou em aeronaves tripuladas ou não, têm sido amplamente usadas para resolução de inúmeros problemas em vários domínios. Portanto, a obtenção destas imagens está diretamente ligada à Fotogrametria e Deteção Remota.

Segundo Wolf (2000) a Fotogrametria é a ciência ou tecnologia de obtenção de informações confiáveis acerca de objetos físicos e do meio ambiente através de processos de gravação, medição e interpretações de imagens fotográficas e padrões de energia eletromagnética e outros fenómenos. As fotografias aéreas podem ser obtidas por meio de levantamentos realizados por aeronaves tripuladas ou então por veículos aéreas não tripulados, VANTs, como também são designados.

Os VANTs têm sido amplamente usados para vários domínios, que vão desde aplicações militares a civis. Os VANTs podem ser usados para o mapeamento, combinando Fotogrametria aérea e terrestre e servindo como tecnologia alternativa para o mapeamento em escalas grandes (Eisenbeiss, 2009). Para elaboração de cartografia e análise de alguns fenómenos, fundamentalmente em pequenas áreas esta técnica apresenta-se como sendo ideal, pois os custos operacionais são mais baixos.

A abordagem principal deste trabalho consiste em utilizar estas imagens como base para elaboração de cartografia atualizada numa área em que o processo de expansão urbana nos últimos 8 anos verificou-se intensamente. Esta solução é apresentada devido a flexibilidade que há em integrar estes dados num Sistema de Informação Geografia.

A área de estudo apresenta características de ocupação do solo de forma desordenada, resultante do êxodo de pessoas das zonas rurais para zonas urbanas e aumento da população da própria cidade.

Em geral estes processos ocorrem a um ritmo mais acelerado do que o processo de produção de cartografia. A falta de cartografia atualizada nas administrações municipais dificulta em grande medida a planificação, organização e tomada de decisão na elaboração de projetos.

A gestão eficiente de infraestruturas municipais não é possível com ausência de cartografia atualizada. Os SIGs apresentam-se como uma ferramenta ideal para o manuseio e gestão de grande volume de informação geográfica georreferenciada.

1.3 Estrutura da Tese

O presente trabalho está estruturado em seis capítulos: No primeiro capítulo é apresentado o conteúdo introdutório sobre o tema de estudo, os objetivos e a contextualização do trabalho; em seguida é apresentada uma revisão da literatura. Neste capítulo é apresentado o histórico dos veículos aéreos não tripulados, sua aplicação em determinadas áreas, bem com a comparação com dados provenientes de veículos aéreos tripulados; no terceiro capítulo é apresentada uma abordagem sobre a integração dos dados provenientes da Fotogrametria Digital nos Sistemas de Informação de Geográfica.

Ainda é abordado a questão da utilização destas informações em zonas com rápido crescimento urbano e sua aplicação da gestão das administrações municipais; no quarto capítulo é apresentada a metodologia do trabalho por meio de um modelo concetual. Nesta fase são descritas as etapas da execução do trabalho, desde o processamento das imagens a extração de informação de geográfica e sua integração numa base de dados SIG; no quinto capítulo são demonstrados os resultados obtidos com base na metodologia aplicada no capítulo anterior. No último capítulo do trabalho são apresentadas as conclusões, recomendações.

Capítulo 2

2.1 Fundamentao Teórica

2.1.1 Definio VANTs

A obteno de imagens areas constitui um dos processos fundamentais na extrao de informao geogrfica georreferenciada. Esta informao serve como base para diversos estudos. Portanto, este processo pode ser efetuado de forma direta com trabalho de levantamentos de campo (estao de total ou GPS) ou ainda de forma indireta, por meio de plataformas orbitais, aeronavais tripuladas e por VANT.

UAV é abreviao em ingls que significa Unmanned Aerial Vehicle ou Unmanned Airborne Vehicle, em portugus so designados de VANTs ou seja Veiculo area no tripulado.

Segundo Eisenbeiss (2009) VANT so veiculos areas no tripulados que so inabitados, reutilizaveis e controlados, sendo que os mesmos podem voar de forma autonoma, semi-autonoma ou manualmente guiados por um piloto em terra usando um controle remoto.

Portanto, de acordo com o relatorio do DoD (Department of Defense), Departamento de Defesa dos EUA, denominado Unmanned Aerial Vehicle Roadmap 2002-2027; VANT so veiculos que necessitam de um operador humano, utilizando foras aerodinamicas para voar, podendo efetuar voos de forma autonoma ou ser pilotado remotamente, podem ser descartaveis, recuperaveis e podendo ainda transportar cargas belicas ou no belicas. Estes veiculos ainda so denominados de DRONE nos Estados Unidos da America. No passado, os VANTs foram desenvolvidos precisamente para fins militares com objetivos de espionagem, vigilncia, reconhecimento e mapeamento de area hostis. (X.Liu et al,2012)

O termo UAV é muito usado nas ciencias da computao, robtica e inteligencia artificial, assim como na fotogrametria e deteco remota. Portanto, surgem varios sinonimos em relao a estes tipos de veiculos, tais como: Remotely Piloted vehicle (Veiculos Pilotado Remotamente), RPA, Remotely Operated Aircraft (Aeronave pilotada Remotamente), ROA, Unmanned Vehicle Sytems (Sistemas de veiculos no tripulados), UVS, (Longhitano 2010).

Este ltimo   utilizado pela DoD e a FAA (Federal Aviation Administration) dos EUA. Portanto, FAA adotou uma classe genérica, que foi originalmente introduzida pela U.S Navy. A terminologia UAS foi comumente entendida como todo um sistema, incluindo Unmanned Aircraft(UA) aeronaves tripuladas e as Ground Control Station (GCS) esta es de controle em terra (figura 1).

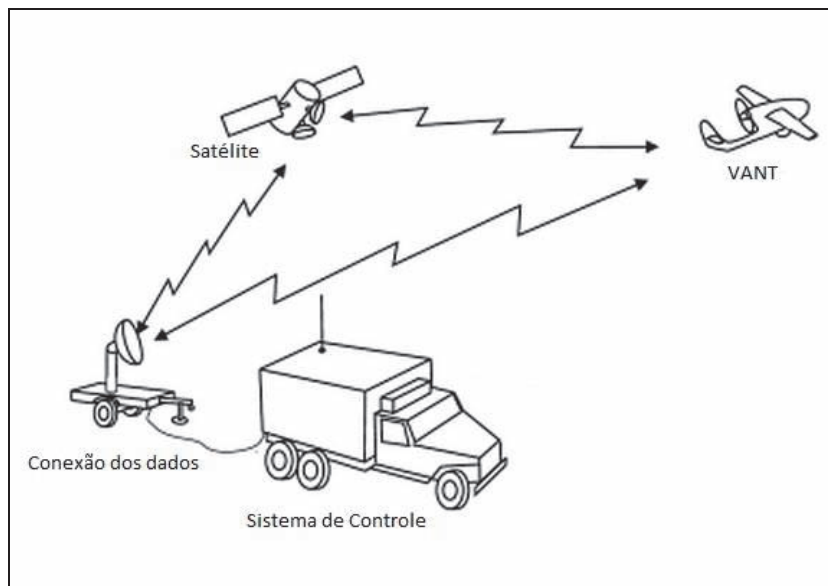


Figura 1 - Componentes de um Sistema VANT. Adaptado de (Fahlstron and Gleason 2012)

O conceito do VANT não se resume simplesmente na plataforma, mas sim pode ser entendido como um sistema que abrange o próprio veículo, hardware e software, esta o de controle, sensores e equipamentos de navega o.

2.1.2 Surgimento dos VANTs

A constru o de artefactos aéreos não tripulados para fins de obten o de informa o geogrfica   uma ideia antiga, visto que o homem teve sempre necessidade de explorar o meio que o rodeia. A primeira fotografia aérea conhecida e patenteada foi obtida pelo francês Gaspard Tournacho em 1858, tirada a partir de balões cativos tripulados.(Eisenbeiss, 2009)

Em 1883, Douglos Archibold em suas experiências instalou um anem metro a um fio em papagaio de papel, para medir a velocidade do vento em diferentes altitudes. Ainda com o mesmo tipo de artefacto cinco anos depois, em 1888, o francês Arthur

Bolut instalou uma camara fotografica, obtendo as primeiras fotografia aereas. (Longhitano, 2010)

Portanto, esta tecnica foi tendo mais seguidores com o passar do tempo e em 1906 George R. Lawrence, com conjunto de 17 papagaios de papel interligados, fotografou a cidade de So Francisco nos Estados Unidos da America, para registrar os escombros aps o terremoto ocorrido neste ano.

No inicio do sculo XX comecaram a surgir os primeiros veiculos no tripulados com asas fixas, sendo que foram motivados principalmente para fins militares. Um destes veiculos e o kettering Bug construido em 1917 (figura 2) desenhado para transportar bombas, e com capacidades de atingir alvos localizados a 64 km (Fahlstron and Gleason, 2012). Com a passar do tempo varios modelos para este tipo de aplicaoes foram surgindo.

Durante a primeira e segunda guerra mundiais, assim como no periodo da guerra fria foram usados estes veiculos, para fins de bombardeamentos bem como para reconhecimento de areas inimigas (Aguilera and Lahoz ,2010).

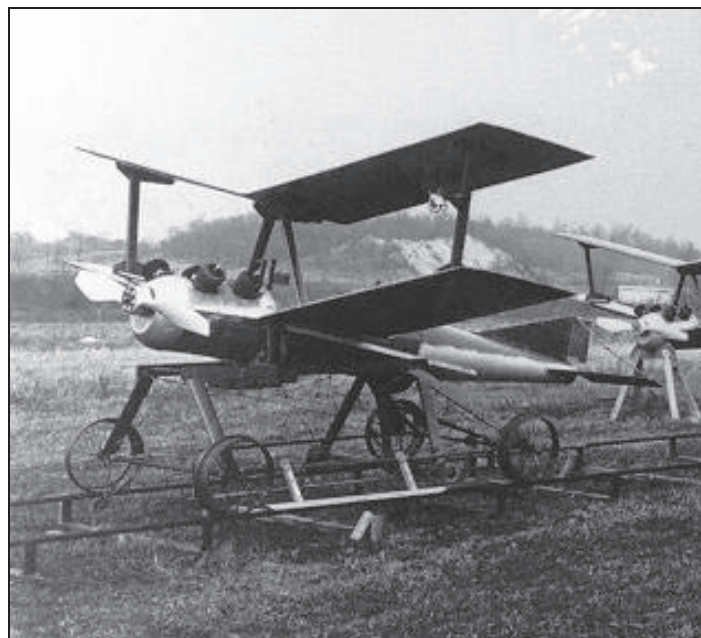


Figura 2 - VANT Kettering Bug(fonte:(Fahlstron and Gleason 2012))

O desenvolvimento desta tecnologia para aplicaoes civis foi surgindo mais lentamente, devido principalmente aos custos associados a construo de um veiculo aereo para esta finalidade.

A partir de 1960, foram surgindo vários projetos de pesquisa envolvendo veículos aéreos não tripulados, fazendo com que começassem a aparecer mais constantemente. O que se fazia era adaptar camaras fotográficas de pequeno formato em aeromodelos Rádio controladas (figura 3) (Eisenbeiss, 2009).



Figura 3 - Aeromodelo Rádio-controlado utilizado por Przybila (1979) para obtenção de fotografias aéreas

Esta técnica permitiu ampliar os níveis de aplicação para uso civil. Como qualquer sistema, este apresentava algumas inconsistências principalmente em manter a altitude prevista e a navegação da própria aeronave, condicionando em algumas situações o pós-processamento.

Com o desenvolvimento tecnológico nesta área foram surgindo novos sistemas, principalmente pela possibilidade de integração dos Sistemas GPS/INS em novos modelos de VANTs (figura 4). No período de 2004 a 2007 foram desenvolvidos projetos em que foram usados VANTs com asas rotativas, como é o caso do Copeter 1B, desenvolvido pela empresa Surveycopter. Uma das características principais era a capacidade de efetuar voo de forma autónoma precisamente seguindo o percurso estabelecido.



Figura 4 - VANTs para uso em aplicações civis adaptado (Eisenbeiss 2009) e (Everaerts 2008, Longhitano 2010)

2.1.3 Vantagens dos VANTs

Uma das grandes vantagens dos VANTs, comparado com os veículos tripulados é a possibilidade ser usada em situações de alto risco, sem comprometer vidas humanas. Além disso, podem ser usados em áreas inacessíveis tal como: zonas montanhosas e desérticas, florestas densas, planícies de inundação, zonas com ocorrência de terremotos e bem como zonas com ocorrências de cenas de acidentes (Chang-chun, Guang-sheng et al., 2011).

Além disso os VANT apresentam como vantagens a capacidade e habilidade de em tempo real adquirirem imagens ou filmar, e simultaneamente enviá-los a estação de controlo (Eisenbeiss 2009). Este procedimento permite avaliar no momento a qualidade dos dados, permitindo desta forma efetuar qualquer procedimento para melhorar os resultados.

A maior parte dos VANT existentes no mercado destinados para fins civis, apresentam como característica principal o fator baixo custo. Por outro lado, uma das grandes vantagens do VANTs inclui a redução dos custos operacionais, consistência de trajetória de voo e aquisição de imagem (Watts, Perry et al. 2010).

O custo referenciado no no e simplesmente o da plataforma, mas tambm o prprio custo de operao, que e relativamente baixo. Por exemplo, para um levantamento aereo em pequenas areas a utilizao de VANTs e uma alternativa ideal, fundamentalmente pelo baixo custo de operao e pela rapidez de execuo da operao, bem como a possibilidade de repetir aquisio das imagens, caso no apresentem boa qualidade.

Alm da reduo dos custos de operao quando comparados as aeronaves tripuladas, a utilizao de VANTs, traz a possibilidade de monitoramento de atividades ilcitas em tempo real ou em areas onde o voo tripulado pode representar um risco a tripulao (Silva, 2013).

Por outro lado, as imagens obtidas por VANTs, oferecem grande flexibilidade no processamento, que e realizado completamente de forma automtica.

Portanto, os veiculos aereos no tripulados apresentam mltiplas vantagens, mas e importante realar que para determinadas aplicaes, o custo pode ser aproximado ao veiculo aereo tripulado.

2.1.4 Desvantagens dos VANTs

A tcnica de obtenao de fotografia aerea por meio de VANT apresenta algumas limitaes, tal como limitao do peso, grande distorao geomtrica, cobertura estreita de cada imagem, grande quantidade de dados para o pr-processamento (Lin, Tao et al. 2010).

Comparando as camaras de grande formato (Fotogrametria convencional), os VANTs tm que adquirir um nmero elevado de imagens, de maneira a obter a mesma cobertura de imagem e resoluo comparvel. Alm disso, normalmente os sensores de baixo custo so menos estveis do que os sensores mais caros (Eisenbeiss, 2009).

Por outro lado, os VANTs esto equipados com motores eltricos de pouca potncia, limitando desta forma o alcance de altitudes mais elevadas. Nalguns casos, a altitude reduzida representa uma desvantagem, especialmente por razes geomtricas. Sendo que noutros e uma vantagem, fundamentalmente pela resoluo. Mesmo assim e possvel, com plataformas baratas, voos a 1500 metros.

O facto de se usarem sensores de baixo custo, condiciona a estabilidade dos mesmos, resultando na reduo da qualidade das imagens adquiridas. Devido o seu baixo peso

só é possvel efetuar missões em condições atmosféricas favoráveis, isto é, situação de ventos inferior a 45km/h e chuvas fracas, por exemplo: EBee da sensefly (j. Vallet at all, 2011).

Os VANTs são condicionados às regulamentações da aviação civil ou militar do local, principalmente para determinas áreas. Os VANTS, não estão equipados com sistemas de comunicação de tráfego aéreo e sistema anti-colisão, portanto, a sua utilização em zonas próximos a aeroportos ou aeródromos deve ser acautelada.

A convivência entre aeronaves comerciais, com cada vez mais passageiros e os VANTs, traz sérias preocupações com relação a capacidade que o sistema atual de navegação, controle, vigilância e gestão de tráfego aéreo tem para lidar com situações de perigo em caso de aproximação entre as duas categorias de aeromóveis (Corrêa and Júnior, 2008). Obviamente este fator corresponde a umas das grandes desvantagens que este sistema apresenta.

O processamento das imagens só é possível com softwares específicos, visto que os softwares comerciais para processamento fotogramétrico convencional nem sempre são compatíveis com este tipo de dados.

2.1.5 Aplicações dos Veículos Aéreos não Tripulados

Para uso civil, o surgimento de VANTs não tem ocorrido na mesma proporção que comparando com o uso militar, não só devidos os investimentos financeiros, mas também pela divulgação e reconhecimento desta tecnologia. A questão da segurança e regulamentação dos mesmos tem sido posta fortemente em causa.

Com o surgimento de diversos projetos de investigação em Universidades, agências de investigação espaciais, assim como para empresas privadas, tem permitido o crescimento significativo desta tecnologia.

Por exemplo a NASA (2006), elaborou um documento denominado "Earth observation and the Role of VANT", destacando três principais categorias para o uso civil, nomeadamente: Missões para ciências da terra, Gestão costeira e uso do solo e segurança pública (Anexo A).

Como já foi referido, as áreas de aplicação dos VANTs são cada vez mais abrangentes, tudo em função da necessidade que o homem tem de resolver problemas (figura 5). As imagens obtidas por VANTs, são de extrema importância em

casos de desastre naturais, já que possibilitam uma agilidade que não é encontrada no uso de aviões e muito menos em imagens de satélites.



Figura 5 - áreas de aplicação dos veículos aéreos não tripulados: 1) aplicação florestal;2) Inspeção de Oleodutos;3) Monitoramento de incêndios;4 Contagem de animais (elefantes);5) cadastro urbano;6) Deslizamento de terra. Adaptado(Grenzdörffer, G., J. , et al. (2008) e <http://www.sensefly.com>)

Em caso de ocorrência de um terremoto, estes dados permitem a reconstrução de um mosaico de imagens ortorectificados da área afetada, que serve de apoio as equipas no terreno, permitindo desta forma fazer uma avaliação global dos danos causados pelo terramoto. (Chang-chun, Guang-sheng et al., 2011)

Ainda em relação a acidentes naturais foi usado VANTSAR um veículo aéreo não tripulado equipado com um radar de abertura sintética propriedade da NASA, para obter imagens após o terremoto de 12 de Janeiro 2010 que ocorreu no Haiti com a finalidade de medir os deslocamentos da superfície terrestre(Freitas, 2010). O mesmo VANT ainda foi usado para identificação, avaliação e monitoramento de impactos provocados em zonas do litoral nos Estados Unidos devido ao acidente ocorrido na plataforma petrolífera pertencente a BP no Golfo do México.

Segundo Calisto (2013), devido à possibilidade de se poder definir o momento da cobertura de voo, permite que os VANTs possam ser utilizados em áreas com ocorrências de rápido crescimento urbano, pois as imagens obtidas permitem acompanhar a evolução ao longo de períodos de tempos predefinidos.

Em estudos relacionados com florestas, conservação do meio e agricultura, os VANTs podem ser usadas para os seguintes casos(Grenzdörffer, Engel et al., 2008):

- Detecção de incêndios florestais

- Monitoramento e deteo de mudanas dentro das florestas (em casos de difcil acesso)
- Localizar locais de colheitas em campos agrcolas
- Determinao da biomassa e crescimento de plantas.

Atualmente com as mudanas constantes que se verificam em espaoes geogrficos, tem havido necessidade da realizao rpida e eficiente de levantamentos que combinam dados de campo, orto-imagens, modelos 3D de estruturas e modelos de elevao para realizao da atualizao da informao geogrfica. Portanto, uma das formas de efetuar cadastro a utilizao de imagens obtidas com VANTs, estas imagens so combinadas com dados de campo realizados com estaes totais ou GPS de dupla frequncia (Manyoky, Theiler et al. , 2011).

Portanto, como se pode verificar o mercado civil atualmente apresenta vrias opes de VANTs, com caractersticas especficas para determinadas misses, desde a inspeo de grandes estruturas, tais como: oleodutos, gasodutos, linhas de transmisso, levantamento de ocupao urbana e prospeo topogrfica, mineral e arqueolgica, contagem de animais em zonas de preservao, deslizamento de terra, rastreamento e identificao de reas do litoral em risco de serem afetadas por erosao.

Alm disso, so usadas para a documentao e preservao de stios arqueolgicos onde se requer a utilizao de tcnicas rpidas e fceis para reconstruo tridimensional da rea de interesse. Segundo Brutto, Borruso et al. (2012) o objetivo principal para estudos arqueolgicos, alm da documentao fotogrfica, a obteno de modelo digital de elevao e orto-imagem dos stios.

Como se pode verificar so inmeras aplicaes dos VANTs no apenas para aplicaes fotogramtrica assim como em outras reas de investigao. Para o presente trabalho os dados obtidos por estes sistemas foram usados particularmente para extrao de informao geogrfica em reas urbanas e avaliao do grau de desatualizao cartogrfica.

2.2 Classificao dos VANTs

Devido a grande variedade de VANTs desenvolvidos atualmente no h uma nica de forma de classific-los, sendo que a maior parte das vezes a classificao surge de acordo com a aplicao para a qual ser usada a plataforma. A classificao dos veculos aereos no tripulados pode ser feita tanto para aplicaes civis como militares. Para este trabalho e importante apenas realar aplicao para uso civil. Vrias empresas tm desenvolvido projetos tecnolgicos de VANTs para fins comerciais, procurando melhorar cada vez mais o nvel de qualidade e preciso dos dados obtidos. Por conseguinte, o fluxo de desenvolvimento destes sistemas tem permitido classific-las de acordo com algumas variveis.

Os VANTs podem ser categorizados usando os critrios principais de uma aeronave, tais como: sem ou com energia eltrica ou, mais leves que o ar ou flexiveis, com asas fixas ou rotativas. (Eisenbeiss 2009) Esta classificao representa a existncia dos VANTs que pode ser usada para aplicaes fotogramtricas.

Os VANTs com asas fixas em geral atingem maiores velocidades e tm maior autonomia de voo, enquanto os rotativos so capazes de voar a baixa e mdia velocidades e decolar e pousar verticalmente. Alm disso so mais instveis e com dinmica de voo diferente de acordo com o modo de voo.

Uma das classificaes mais utilizadas e a definida por (Blyenburgh 1999) que combina as seguintes variveis: peso, alcance, altitude e autonomia de voo. Estas variveis representam de uma maneira geral os elementos essenciais do sistema (tabela 1).

Tabela 1 - Classificao dos VANTS

Categoria	Massa(kg)	alcance(km)	Altitude(m)	Autonomia(horas)
Micro	<5	<10	250	1
Mini	<25/30/150	<10	150/250/300	<2
Close Range	25-150	10-30	3000	2-4
Short Range	50-250	30-70	3000	3-6
Medium Range	150-500	70-200	5000	6-10
Medium Range Endurance	500-1500	>500	8000	10-18
Low Altitude Deep Penetration	2500-5000	>2000	20000	24-48
Low Altitude Long Endurance	>2500	>2000	>20000	>48

A classificao da tabela 1, refere-se apenas para a aplicaes civis. Em geral a classificao para fins militares apresenta capacidades superiores em termos de altitude de voo e autonomia.

Além disso, estas plataformas podem ser classificadas de acordo ao tipo de sensores usados e a capacidade em obter dados em tempo real, que é um fator de extrema importância no processamento dos dados (Eisenbeiss, 2009). Visto que a precisão do mapeamento e georreferenciação está diretamente relacionado com os sensores abordo da aeronave.

Os sensores de baixo custo implicam necessariamente um pós-processamento, enquanto os sensores de alta qualidade tais como DGPS(Differential Global Positioning System) e IMU(Inertial Measurement Unit) têm grande potencial na georreferenciação direta, principalmente quando não há possibilidades de implantação de pontos de controlo no terreno, por exemplo em áreas remotas ou inacessíveis.(Watts, Perry et al., 2010)

2.3 Viabilidade legal dos veículos Aéreos não tripulados

Um VANT ao sobrevoar uma determina área necessita de uma autorização prévia, embora muitas vezes é associado a um meio de diversão. Portanto, assim como acontece com os veículos aéreos tripulados em que os governos estabelecem legislações para o exercício de atividades, os VANTs não fogem à regra, uma vez que o exercício desta atividade pode provocar sérios riscos e danos à aviação e à população. O seu constante crescimento e divulgação têm provocado pressão em alguns governos em relação à certificação desta atividade.

Segundo JAA. e EUROCONTROL (2004), definem que veículos aéreos não tripulados com massa à decolagem superior a 150kg têm de ser certificados pela EASA (European aviation Safety Agency), enquanto se massa for inferior a este valor, devem estar sujeitos à regulamentação de cada país.

Na Suíça por exemplo, a instituição responsável em regulamentar os veículos aéreos não tripulados categorizou os mesmos de acordo duas classes: as com peso inferior ou superior a 30kg. Portanto, os VANTs com peso superiores a 30kg precisam de uma autorização oficial do BAZL- Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL – Federal Office for Civil Aviation FOCA), sendo a segunda classe autorização dependente do tipo de VANTs (Eisenbeiss, 2009).

No Reino Unido, segundo CAA (2009), Civil Aviation authority, os VANTs estão divididos em duas classes, para fins de recreativos e comerciais. As atividades para

fins comerciais esto autorizadas para VANTs com as seguintes caractersticas: menor que 7kg, 7-20 kg, 20-150 kg e maior que 150kg.

Apesar de estes veculos serem amplamente divulgados e comercializados em muitos pasies, ainda no existem legislaes para o exercicio da atividade. No Brasil, por exemplo no existe ainda legislao especifica para VANTs, mas foi criada pelo DCEA-Departamento de Controlo do Espao Aereo Brasileiro um documento que prevê e regulamenta atividade. Esta circular determina provisoriamente que qualquer atividade neste ambito necessita de uma autorizao, a ser emitida pelos orgaos da aviao civil e militar (Correa and Junior 2008).

Para o caso de Portugal, tambem no ha uma legislao especifica para esta atividade, mesmo com a crescente divulgao para fins comerciais e implementao de alguns projetos, caso do Imprio SP1-01, desenvolvido com o objetivo fazer missoes de vigilancia maritima e de monitorizar incendios, ainda falta a base legal para regular esta atividade.

A presenca de VANT em Angola tem sido particularmente para fins comerciais, consequencia da grande necessidade que ha em desenvolver o pais em varios setores. Empresas privadas vocacionadas a para area das geociencias tem efetuado trabalhos em algumas provincias do pais. Assim, como em outros pasies no ha uma regulamentao especifica para os exercicios de atividades com VANTs Angola.

O decreto-lei 26/08 de 03 de Marao da Aviao Civil da Republica de Angola, dos quais fazem parte as Normativos Tecnicos Aeronauticos (NTA), no faz menao a regulamentao dos veiculos aereos no tripulados para fins de extraao de informao geografica ou qualquer outra atividade similar. Apesar que a normativa II, sobre o registo de aeronaves, refere-se somente as aeronave mais leve do que ar, tais como: baloes e dirigiveis(INAVIC, 2003).

Portanto, por maior necessidade que possa haver em realizar trabalhos com estes veiculos, a questao da regulamentao e fundamental, pois o fator seguranga deve ser tido em considerao, caso as missoes dos VANTs forem realizadas em areas densamente povoadas, zonas de trafego aereo ou em zonas consideradas protegidas pelas instituicoes governamentais.

2.4 Comparao entre os veculos aereos no tripulados e outras plataformas de Deteco Remota

Até ao incio do sec.XXI, a Deteco Remota era dominada por sensores acoplados em plataformas aereas, que apresentavam resoluoes espaciais muito acima das resoluoes conseguidas por sensores acoplados em satélites. Portanto, somente com o surgimento da nova geraco de satélites de observao terrestre é que os sensores espaciais passaram a competir com as plataformas aereas em termos de resoluo espacial como se pode observar na tabela 2.

Tabela 2 - Especificaes dos Satélites. Fonte: <http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors.html> (adapt.)

Satélite	Resoluo Espacial (m)	Largura de Cobertura (km)	Resoluo Temporal (dias)	Altitude Orbital(km)
GEOYE-1	0.41	15	8.3	684
IKONOS	1	13	3	681
LandSat 4-5	30	185	16	710
SPOT-5	2.5	60	2-3	822
QuickBird	0.6	16.5	1-3.5	450
WorldView-II	0.55	17.6	1.7	496

Uma anlise comparativa dos VANTs e as plataformas de Deteco Remota é feita basicamente em termos de resoluo espacial e custos inerente ao processo de produo de informao geogrfica.

A qualidade das imagens aereas depende, em grande medida, do tipo de sensor, altitude em que o sensor se encontra e a rea de cobertura que for usado. Entretanto, para Fotogrametria existem camaras digitais que proporcionam resultados abaixo 10cm em termos resoluo. (por exemplo: ADS40,DMC,ULTracam).

Anlise comparativa de obteno de imagens aereas usando VANTs e Fotogrametria convencional, é fundamentalmente em termos de custo de obteno de imagens, processamento das imagens, flexibilidade e em termos de resoluo temporal. Geralmente as imagens obtidas por VANTs em termos de resoluo temporal apresentam maior flexibilidade comparando com as aeronaves tripuladas, pois o levantamento aereo pode ser repetido caso existam fotografias com problemas.

Segundo Longhitano (2010), uma opo que apresente a mesma flexibilidade que um veiculo aereo no tripulado, seria a contratao de um Helicoptero para obteno de imagens aereas. Portanto, isto implicaria manter de plantao aeronave e sempre preparada para execuo das missoes. Obviamente, este tipo de operaoes estariam

sujeitos custos elevadssimos, que provavelmente em determinadas situaes no seriam viaveis.

O mtodo de obtenao de imagens aerea por meio de tcnicas de Fotogrametria convencional (usando camaras analgicas ou digitais), e um processo que apresenta custo de produao de imagens muito elevado. Por exemplo se rea pretendida for inferior a 2 km², obviamente que os custos de operao e processamento dos dados no justificaro realizar esta tarefa.

Portanto, com os VANTs pode-se conseguir resultados com resoluo espacial prxima a das aeronaves tripuladas ao melhor que as aeronaves tripuladas. Assim sendo, os sistemas VANTs apresentam-se como uma soluo ideal para caso em que as reas de interesse no muito extensas.

Em alguns casos com os VANTs consegue-se obter resolues espaciais a partir de 3cm. Entretanto, apesar dos valores de resoluo espacial utilizando VANTs, serem aceitveis para determinadas aplicaes, mas quando se pretende rigor, preciso e maior rea de cobertura, a soluo e claramente a tcnica de obtenao de imagens com aeronaves tripuladas.

Capítulo 3

3.1 Integração da Fotogrametria Digital nos Sistemas de Informao Geogrfica

Fazendo uma retrospectiva das últimas décadas em relao à Fotogrametria, observamos que as mudanas são claramente visíveis. O desenvolvimento da eletrônica e da computação, abriu novos horizontes para a Fotogrametria e permitiu a integrao com outras ciências.

Uma das integraes da Fotogrametria é com os SIGs. De uma maneira geral, os produtos fotogramétricos são os que constituem a base de sustentabilidade de um SIG. Assim sendo, a informao fornecida pela Fotogrametria é integrada num ambiente SIG em formato raster ou vetorial para servir de referncia para realizar análises espaciais.

Os principais produtos obtidos a partir por fotografia aérea fotogramétrica são: DEM e ortofoto (figura 6). Sendo que o primeiro fornece dados de altitude, enquanto a outra a posio planimétrica dos objetos. Além disso, estes dados são planimetricamente rigorosos, e assim, os elementos bidimensionais podem ser digitalizados diretamente. (Wolf and Dewitt, 2000).

Segundo os mesmos autores o ortofoto é um o produto fundamental para os trabalhos de SIG, por ser uma imagem raster e que pode ser facilmente manuseada e analisada visualmente. Atualmente o ortofoto tornou-se num produto indispensável nos trabalhos de SIG. A partir desta imagem várias informaes temáticas podem ser extraídas, constituindo desta forma uma base de dados geogrfica.

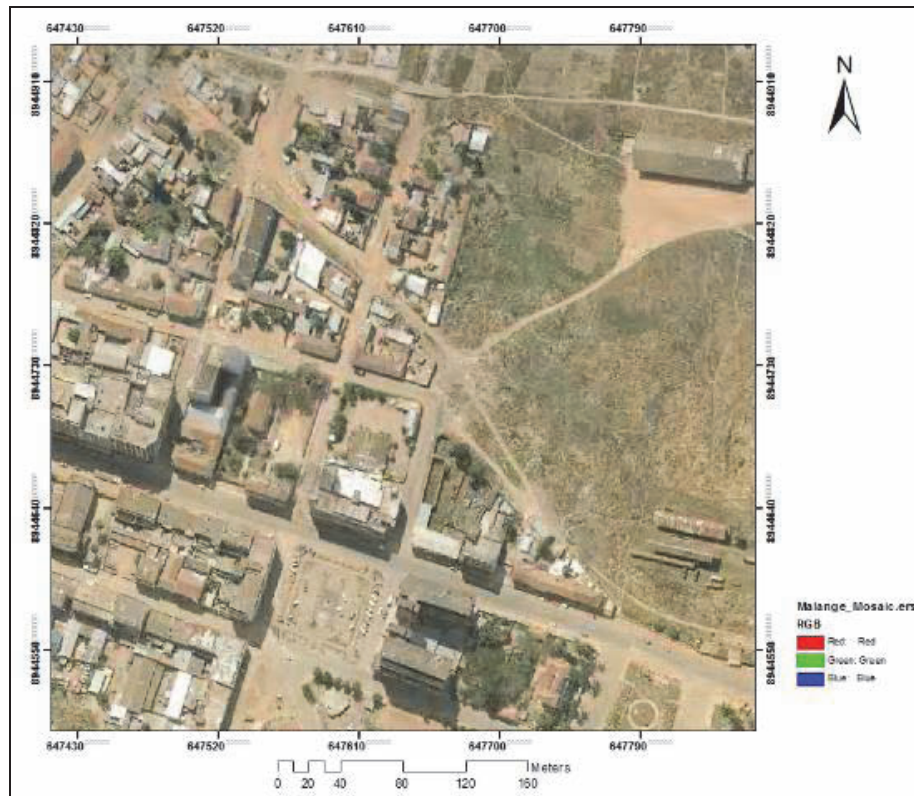


Figura 6 - Pormenor do Ortofoto da cidade de Malanje

Outra forma de extrao da informao geogrfica para base de dados geogrfica   por meio de modelos estereoscópicos obtidos por técnicas de restituio fotogram tricas. O processo de restituio fotogramétrica consiste na transformao de imagens em arquivos vetoriais representativos. Esta tarefa consiste em digitalizar tridimensionalmente as entidades a partir de duas imagens que tenham sido obtidas em condies geometricamente semelhantes.

Se o processo de restituio fotogramétrico for de forma digital, para a gerao automática dos mapas, ou mesmo a partir da digitalizao dos dados em formato raster, pode-se definir planos de informaes diferentes, o que permite o cruzamento de informaes por meio de um SIG. Estes planos de informaes podem ser definidos como: ruas, vegetao, hidrografia, edifcios, uso de solos, linhas de caminho-de-ferro etc.

A Fotogrametria digital   a principal fonte de informao para a base de dados, oferecendo novas possibilidades aos utilizadores deste tipo informao. Portanto, esta integrao permite a juno dos dados fotogramétricos raster e vetoriais em ambiente SIG (Madani, 2001).

A possibilidade e flexibilidade na utilização de fotografias aéreas para aplicações nos sistemas de informação geográfica abrem uma variedade de aplicações para gestão da informação geográfica.

3.2 Aplicações Fotogramétricas nos Sistemas de informação geográfica

As informações provenientes da Fotogrametria são de fundamental importância pois servem de suporte a SIGs. Os dados obtidos por processos fotogramétricos facilmente podem ser incorporados em SIG devido a flexibilidade em serem manuseados e a rapidez em se fazer análises espaciais.

Segundo Wolf e Dewitt (2000), a informação proveniente da Fotogrametria pode ser utilizada nos SIG para as seguintes aplicações: cadastro urbano, monitoramento de arribas costeiras, emissão de plantas de localização, planeamento e gestão de recursos, monitoramento de vida selvagem, análises demográficas.

Portanto, as fotografias aéreas para grandes escalas são frequentemente usadas nos SIGs, devido ao grande nível de detalhe e precisão, principalmente para localizar edifícios em construção, bocas de incêndios, telefones públicos, postes de energia, tampas de saneamentos. Estas informações, caso estejam geograficamente georreferenciadas podem ser integradas em uma base de dados geográfica para efetuar análises espaciais.

3.3 Criação da Base de Dados Geográfica SIG

Durante muito tempo o conceito de base de dados esteve diretamente relacionado ao armazenamento de informação por meio arquivos em formato de papel. O conceito de base de dados convencional está relacionado com um ficheiro de dados, que concebidos em forma de arquivos, em que cada ficha corresponde a um registo de uma entidade. Os dados são estruturados em forma de tabelas, organizados em colunas e linhas. Portanto, todas análises referentes a este tipo de base de dados só são feitas com tabelas.

Por outro lado, a base de dados geográfica representa uma estrutura armazenamento de informação em forma de atributos (tabelas) descritivos assim como as geometrias dos diferentes tipos de dados. Por exemplo, para cada lote de um levantamento cadastral urbano, em uma base de dados geográfica além da informação do

proprietrio, a informao geomtrica com as coordenadas dos limites inserida na base de dados.

Segundo Tamada, Filho et al. (2009) o conceito de base de dados geogrfica distingue-se da base de dados convencional por duas razes:

- Pela natureza dos dados: por armazenar dados relacionados com a localizao das entidades, assim como dados alfanumricos.
- Outra diferena esta relacionada aos tipos de operaes que podem ser realizadas, como por exemplo saber “qual a distncia entre os elementos X e Y”.

De forma geral os dois conceitos esto diretamente associados a uma estrutura de dados, processada em computador, e organizada de maneira a poder ser expandida, atualizada e consultada para diversas finalidades.

Segundo Filho and lochpe (1996), a base de dados geogrfica corresponde a um conjunto de dados referenciado espacialmente, que funciona como um modelo da realidade.

Uma base de dados pode ser pensada como um conjunto integrado de dados sobre um determinado assunto, representando a uma parte critica nas operaes nos Sistemas de Informao Geogrfica (Longley, Goodchild et al., 2007).

Enquanto (Cosme, 2012) considera uma base de dados geogrfica como uma estrutura organizada de armazenamento de informao, alm disso a sua estruturaao, operao e integridade so organizadas de uma forma logica designada de modelo de dados.

Este conjunto de informaes interrelacionado pressupe necessariamente a construo de uma base de dados. Por exemplo, nome, morada, nmero do bilhete de identidade, nmero de telefone, se forem armazenados num computador, representam uma coleao de dados implcitos. Por formarem uma estrutura de base de dados, as informaes so organizadas de forma a agilizar o processo de acesso ao conjunto de informao das entidades do mundo.

Para implementao em SIG, inicialmente as informaes que compem a base de dados geogrfica devem ser convertidas de um formato para outro, caso seja necessrio, isto , de raster para vetorial ou vice-versa. A converso envolve a

operao de extrao de elementos da imagem raster representados em forma de linhas, pontos e polgonos, como pode-se observar na figura 7

Estas informaes so incorporadas da base de dados geogrfica em forma de planos (tambm designados como camadas, ou *layers*) de informao, associando a cada uma delas as tabelas de atributos correspondentes.



Figura 7 - converso de informao raster para vetorial

Depois das informaes necessrias serem incorporadas na base de dados, alguns fatores importantes que devem ser considerados assim como algumas decises crticas:

“As decises esto relacionadas com o tipo de dados que necessitam ser obtidos, os formatos ideais para reunir estes dados, o sistema de referncia conveniente e prtico para relaes espaciais e a preciso necessria para cada tipo de dados”(Wolf and Dewitt , 2000).

Estes aspetos necessitam ser levados em considerao para que a implementao da base de dados seja um xito. Portanto, a criao e implementao deste tipo de estrutura e considerada como uma das tarefas mais dispendiosas e desafiantes no desenvolvimento de SIG.

3.4 Avaliação de qualidade dos dados nos Sistemas de Informação Geográfica

Atualmente o conceito de avaliação da qualidade da informação geográfica é visto em uma perspectiva mais ampla, tornando-se uma grande preocupação no mapeamento digital. Durante o processo de produção de informação georreferenciada o controlo de qualidade é uma das tarefas principais.

Segundo Thapa e Bossler (1992) avaliação da qualidade dos dados espaciais geralmente é efetuada com base em cinco componentes fundamentais: completude, consistência logica, exatidão posicional, exatidão temporal e exatidão temática.

Geralmente quando se trata da avaliação da qualidade dos dados de informação geográfica, seja para os sistemas de informação ou para produção de cartografia a qualidade posicional vem sempre em primeira instância. É sem dúvida a principal preocupação das instituições produtoras de informação geográfica, visto que no processo de geração de dados georreferenciados, empregam-se métodos e instrumentos que originam erros.

Segundo Hegde and Hegde(2007) estes erros são introduzidos de diversas formas. Podendo ser por incorreta interpretação cartográfica, através de densificação incorreta dos vértices de um segmento de linha ou precisão de armazenamento digital. Estes erros apenas representam algumas fontes de imprecisões posicionais.

Na teoria dos erros são apresentados três tipos de erros(Wolf and Dewitt, 2000): Estes erros podem ser sistemáticos, grosseiros, aleatórios ou acidentais.

- Erros Sistemáticos: são erros que geralmente seguem as leis da Física e Matemática.
- Erros Grosseiros: são erros causados por descuido ou negligencia do operador, ocorrem por exemplo; na identificação de ponto, erro na transcrição de registo de um valor ou má interpretação de uma escala.
- Erros Aleatórios ou acidentais: geralmente são erros pequenos, mas que nunca podem ser evitados e variam durante observações sucessivas.

De acordo com (Burity, Brito et al., 1999) na qualidade dos dados em SIG deve-se ter em conta os índices de exatidão posicional e os de exatidão temática. Os dois fatores

podem ser avaliados segundo um conjunto de dados recorrendo a uma amostra que relacionada a conjunto de valores de referência.

A avaliação posicional é analisada em duas vertentes: planimétrica e altimétrica, sendo que geralmente a avaliação da exatidão posicional resume-se apenas na componente planimétrica.

Segundo Junior and Ribeiro (2012), o processo de avaliação da qualidade posicional cartográfica baseia-se na análise da discrepância entre as coordenadas (X,Y,Z) dos pontos retirados da carta e as coordenadas dos pontos homólogos obtidos a partir de observações realizadas e campo ou uma fonte ortofoto, que servem de referência. Por exemplo, esta comparação pode ser efetuada por meio de coordenadas extraídas de um ortofoto ou imagem de satélite e compara-los com valores obtidos por levantamento com GPS diferencial.

$$\begin{bmatrix} X1 \\ X2 \\ \vdots \\ \cdot \\ \cdot \\ Xn \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X1' \\ X2' \\ \vdots \\ \cdot \\ \cdot \\ Xn' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X1 \\ \Delta X2 \\ \vdots \\ \cdot \\ \cdot \\ \Delta Xn \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

$$\begin{bmatrix} Y1 \\ Y2 \\ \vdots \\ \cdot \\ \cdot \\ Yn \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Y1' \\ Y2' \\ \vdots \\ \cdot \\ \cdot \\ Yn' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta Y1 \\ \Delta Y2 \\ \vdots \\ \cdot \\ \cdot \\ \Delta Yn \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

Sendo que:

X,Y=Coordenadas nos eixos X e Y medido na informação cartográfica de referência;

X',Y'=Coordenadas no eixo X e Y interpretadas na imagem

$\Delta X, \Delta Y,$ =Diferença entre os pontos homólogos

As discrepâncias entre os valores das coordenadas analisadas são contabilizadas de formas a obter o valor da exatidão global que é Raiz do erro Médio Quadrático (RMSE). Este parâmetro pode ser calculado e utilizado como um estimador aproximado de precisão, sendo normalmente influenciado mais fortemente por grandes erros do que pequenos erros. O RMSE pode ser calculado separadamente

para cada coordenada, assim como para planimetria. Este parâmetro corresponde à raiz quadrada da soma das diferenças entre os pontos homólogos elevado ao quadrado.

$$DS_i = \sqrt{DX_i^2 + DY_i^2} \quad (3.3)$$

$$RMSEP = \sqrt{\frac{\sum DS_i^2}{n}} \quad (3.4)$$

$$RMSEH = \sqrt{\frac{\sum DZ_i^2}{n}} \quad (3.5)$$

Onde, DX_i , DY_i , DZ_i , representam as diferenças entre os pontos homólogos, n : o número de pontos verificados, DS_i discrepância planimétrica.

Na avaliação planimétrica o valor de RMSE deve estar dentro dos parâmetros da qualidade estabelecidos pela instituição produtora da Cartografia, por exemplo a (ASPRS, 1990), estabelece os valores de RMSE em função das respectivas escalas do mapa (tabela 3).

Tabela 3 - Precisão planimétrica (ASPRS 1990)

Valor limite(m) do RMSE	Escala
0.0125	1:50
0.025	1:100
0.05	1:200

0.125	1:500
0.25	1:1000
0.5	1:2000
1	1:4000
1.25	1:5000
2.5	1:10000
5	1:20000

Outro aspeto tido em conta na avaliação da qualidade da informação geográfica é a exatidão temática. Este parâmetro está relacionado com a classificação do tipo de objetos, independentemente da sua exatidão posicional ser correta. Segundo (Caprioli and Tarantino ,2003) a exatidão temática corresponde a precisão dos valores de atributos codificados numa base de dados. Outra forma de apresentar a exatidão temática é anexar cada objeto ou pixel a precisão de valor do atributo.

Geralmente quando dois objetos fazem parte da mesma classe, e são identificados como pertencente a classe diferentes, comete-se o erro que diminui a exatidão temática. Contudo, na exatidão temática deve-se verificar a probabilidade dos valores das amostras serem bem classificados evitando desta forma os erro de omissão para classe a qual amostra pertence.

3.4.1 Análise de tendências da imagem

Para análise da qualidade posicional e altimétrica de um determinado produto cartográfico diversos são os critérios utilizados. Segundo (Galo and Camargo 1994) análise da qualidade geométrica de um produto cartográfico é obtido por meio de da análise de tendências e a precisão. Neste trabalho foram analisadas a existência de tendências e a precisão do referido produto. Análise de tendências é baseada na análise estatística das discrepâncias entre as coordenadas da imagem e as coordenadas de referências.

Esta análise foi baseada na distribuição t Student, é um teste paramétrico que serve para comparar duas médias quando os dados atingirem uma distribuição normal. Para análise de produtos cartográficos é usado fundamentalmente para verificar se há existências de erros de sistemáticos.

Na análise de tendências é verificado se a média das discrepâncias pode ser considerada estatisticamente igual a zero. Esta análise é efetuada através do teste de hipóteses sobre a média e o desvio padrão (S) amostral dos resíduos, obtidos pela diferença entre as coordenadas. Neste caso são avaliados as seguintes hipóteses:

$$\begin{array}{ll} \overline{\Delta X} = 0 & \overline{\Delta X} \neq 0 \\ H_0: \text{e} & \text{versus } H_1: \text{e} \\ \overline{\Delta Y} = 0 & \overline{\Delta Y} \neq 0 \end{array}$$

Este teste consiste em calcular a estatística amostral "t", e verificar se este valor encontra-se no intervalo de aceitação ou rejeição da hipótese nulo. O valor "t" amostral deve ser calculado com base na seguinte equação:

$$S_{\Delta x} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta X - \overline{\Delta X})^2} \quad \text{e} \quad S_{\Delta y} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta Y - \overline{\Delta Y})^2} \quad (3.6)$$

$$t_x = \frac{\overline{\Delta X}}{s_{\Delta x}} \sqrt{n} \quad e \quad t_y = \frac{\overline{\Delta Y}}{s_{\Delta y}} \sqrt{n} \quad (3.7)$$

Este valor deve ser comparado ao valor te6rico tabela:

$$|t_{calc}| < t_{(n-1, \alpha/2)} \quad (3.8)$$

Portanto, se o valor amostral estiver fora do intervalo de confiana, rejeita-se a hip6tese nulo, ou seja, o produto cartogrfico pode ser considerado como livre de tend6ncias significativas na coordenada testada, para um determinado n6vel de confiana (Silva and Nazareno, 2009)

3.4.2 Aplicao dos SIGs em situaes de rrpido crescimento urbano

O rrpido crescimento urbano das cidades, geralmente no 6 proporcional a produao de informao geogrfica, originando desta forma a desatualizao da cartografia do local. Para as administraes municipais o trabalho com informao atualizada, seja ela cartogrfica ou no, 6 chave para uma planificao eficaz.

O fen6meno do crescimento urbano, est6 relacionado ao 6xodo populacional das zonas rurais para zonas urbanas, com objetivo de procurar melhores condies de vida e de progresso profissional. Portanto, uma das consequ6ncias imediatas 6 o aumento de resid6ncias e loteamentos em algumas 6reas da cidade. Em alguns casos este processo 6 acampando pelas instituies pblicas, por meio da implementao de pol6ticas publicas adequadas de habitaes socias, mas na maior parte das vezes a ocupao destas das 6reas, consideradas habit6veis pelas populaes 6 feita e forma desordenada. Quando assim acontece, estas 6reas no obedecem os padr6es de urbanizao, originando dessa forma a car6ncia de v6rias condies sociais necess6rias para os habitantes.

De acordo com Gomes e Vestena (2013), as administraes municipais, cada vez mais carecem de conhecimento das direes de expansao das cidades e da natureza f6sica das zonas poss6veis de ocupao urbana, para a tomada de deciso.

Os SIG surgem como uma ferramenta de extrema import6ncia para auxiliar os decisores municipais, porque permitem an6lises de varias 6pocas a partir de diferentes

dados (imagens orbitais, fotografias aéreas convencionais e fotografias obtidas por VANT),que podem ser integradas numa base de dados em ambiente SIG.

3.4.3 Situaçaõ Atual em Angola

A guerra civil que assolou Angola durante mais de trinta anos, provocou um xodo populacional muito elevado, fazendo com que a maior parte das pessoas procurassem segurança e melhores condicões de vida nos grandes centros urbanos.

Além de Luanda que é o grande centro da economia do país, outras cidades também foram afetadas por este fenmeno, tais como: Benguela, Huambo, Lubango, Lobito e Malanje. A província de Malanje, além dos aspetos já mencionados, é uma das cidades que também cresceu em termos de densidade populacional. O gráfico da figura 8 espelha a forma de estimativa da populaçaõ de Malanje desde 1985 a 2010 (INE 2004).

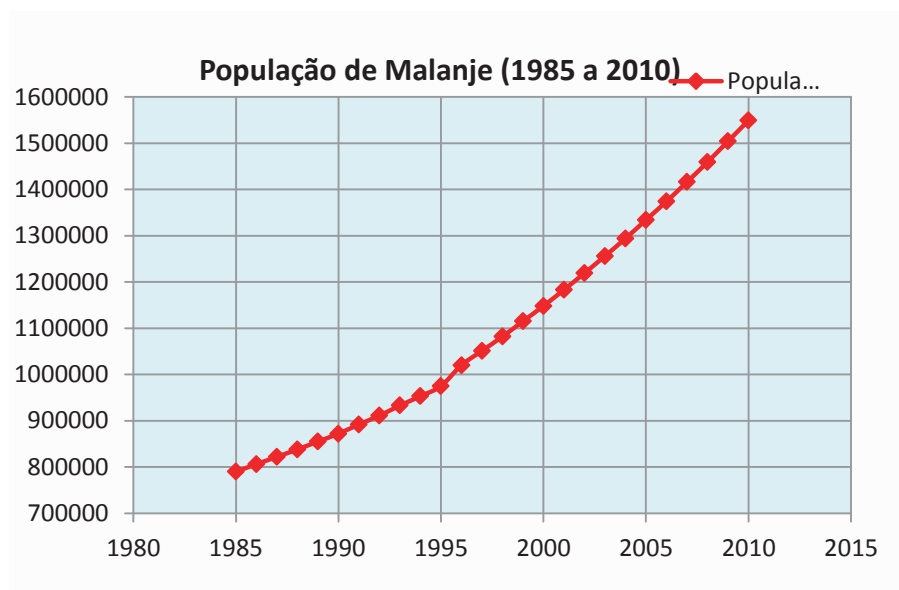


Figura 8 - Variaçaõ da populaçaõ de Malanje de 1985 a 2010

Este fluxo imigratório, associado à forte dinâmica de crescimento populacional, resultou num fenmeno de ocupaçaõ desordenado das áreas urbanas e periurbanas destas cidades. Entretanto, uma das consequências imediata destes fenmenos  alteraçaõ da Cartografia destas áreas. Este fenmeno geralmente não acompanha o ritmo de produçaõ cartográfica.

3.4.4 Situaçaõ da Cartografia em Angola

Em Angola, a elaborao e produo de cartografia e de responsabilidade do Instituto de Geodesia e Cartografia de Angola (IGCA), embora se verifique na prtica algumas instituies a realizarem as mesmas tarefas. O IGCA possui a cartografia elaborada pelas misses geodscas do perodo colonial, assim como a elaborado depois da independncia.

Uma das grandes preocupaes para quem utiliza informao geogrfica, e que as cartas em escalas maiores, esto elaboradas apenas para Luanda, designadamente as cartas a escala 1/5000 e 1/2000. Portanto, neste momento existem projetos de governos das provncias para a elaborao de cartografia atualizada com fotografia aereas. Em algumas provncias esta informao ja est elaborada mas no encontra-se disponvel. Existe em algumas destas cidades a cartografia de pormenor a escala 1:1000, elaborada no perodo colonial, mas que neste momento esto complementarmente desatualizadas.

Esta informao cartogrfica disponvel principalmente nestas escalas, no vai de encontro as exigncias de crescimento das cidades, havendo um grande fosso em relao o que est cartografado e ao que existe na realidade.

Para dar respostas a este nvel de exigncias a produo da cartografia deve acompanhar a todas mudanas ocorridas no ambiente urbano. Normalmente estes dois elementos no caminham de forma paralela, principalmente devido ao custo inerente a produo da cartografia.

Devido ao facto da cartografia de pormenor existir apenas para Luanda, e as que existem em algumas cidades ja encontra-se desatualizadas e sobre tudo porque a produo do IGCA por meios fotogramtricos convencionais e lenta e no se adequa a rapidez de alteraes das cidades, outras solues tecnolgicas devem ser apresentadas.

Assim sendo, a utilizao de VANTs para o mapeamento destas reas apresenta-se como uma soluo ideal. Principalmente pela flexibilidade temporal em obter os dados e sobre tudo pelo fato dos custos serem menos onerosos em relao aos meios de produo tradicionais.

A utilizao de VANTs para fins de mapeamento e uma tecnologia muito recente, que em Angola tem sido usada principalmente para mapear reas em rpido crescimento urbano.

Por outro lado, estas imagens podem ser integradas num sistema de informação geográfica, possibilitando a criação de uma base de dados, que poderá ser gerida ao longo do tempo, permitindo o acompanhamento a análise temporal das áreas submetidas aos processos de ocupação urbana.

Para cidade de Malanje, que representa a área de estudo deste trabalho, estas imagens apresentam-se como uma solução ideal, para diversos estudos, desde o mapeamento de áreas de uso e ocupação de solo, mapeamento de infraestruturas, cadastro e tantas outras aplicações.

Capítulo 4

4.1 Introdução

Neste trabalho é apresentado uma metodologia de obtenção de informação geográfica de forma automática usando imagens obtidas por VANTs. Este processo é apresentado por meio de duas abordagens, isto é, utilizando informação proveniente do VANT e por outro lado usando pontos de controlo estabelecidos por levantamento GPS e extraídos a partir de um ortofoto.

A metodologia é seguida da validação dos resultados, de maneira a comprovar a confiabilidade dos mesmos resultados, quanto à exatidão posicional planimétrica e altimétrica, bem como a qualidade visual das imagens obtidas.

4.1.2 Metodologia de trabalho

A metodologia apresentada neste trabalho segue um modelo conceptual representado em forma de fluxograma (figura 9), onde são descritas todas as etapas realizadas. O trabalho é apresentado em quatro fases interligadas.

Na primeira fase do trabalho foi realizado pesquisa de literatura em relação ao tema de trabalho. A revisão da literatura consistiu em rever aspetos relacionados com os métodos de obtenção de informação geográfica, com maior ênfase para os veículos aéreos não tripulados, que constitui a base de investigação deste trabalho. A integração de técnicas de Detecção Remota e os SIG constituiu base de revisão da literatura para este trabalho.

Na segunda fase do trabalho foi realizado o processamento fotogramétrico de forma automática das imagens obtidas por veículos aéreos não tripulados, com base nas seguintes etapas: orientação interna, orientação externa, triangulação aérea e obtenção do ortofoto e DEM.

Em seguida, a partir do ortofoto efetuou-se a extração de informação geográfica, por meio da vectorização e classificação. Nesta fase a extração de informação consistiu em obter planos de informação da área de estudo.

A quarta fase consistiu em realizar a atualizao cartogrfica da rea escolhida, com a base nas imagens obtidas por VANTs de 2012 e ortofoto 2011. Est informao georreferenciada e atualizada foi integrada num SIG municipal.

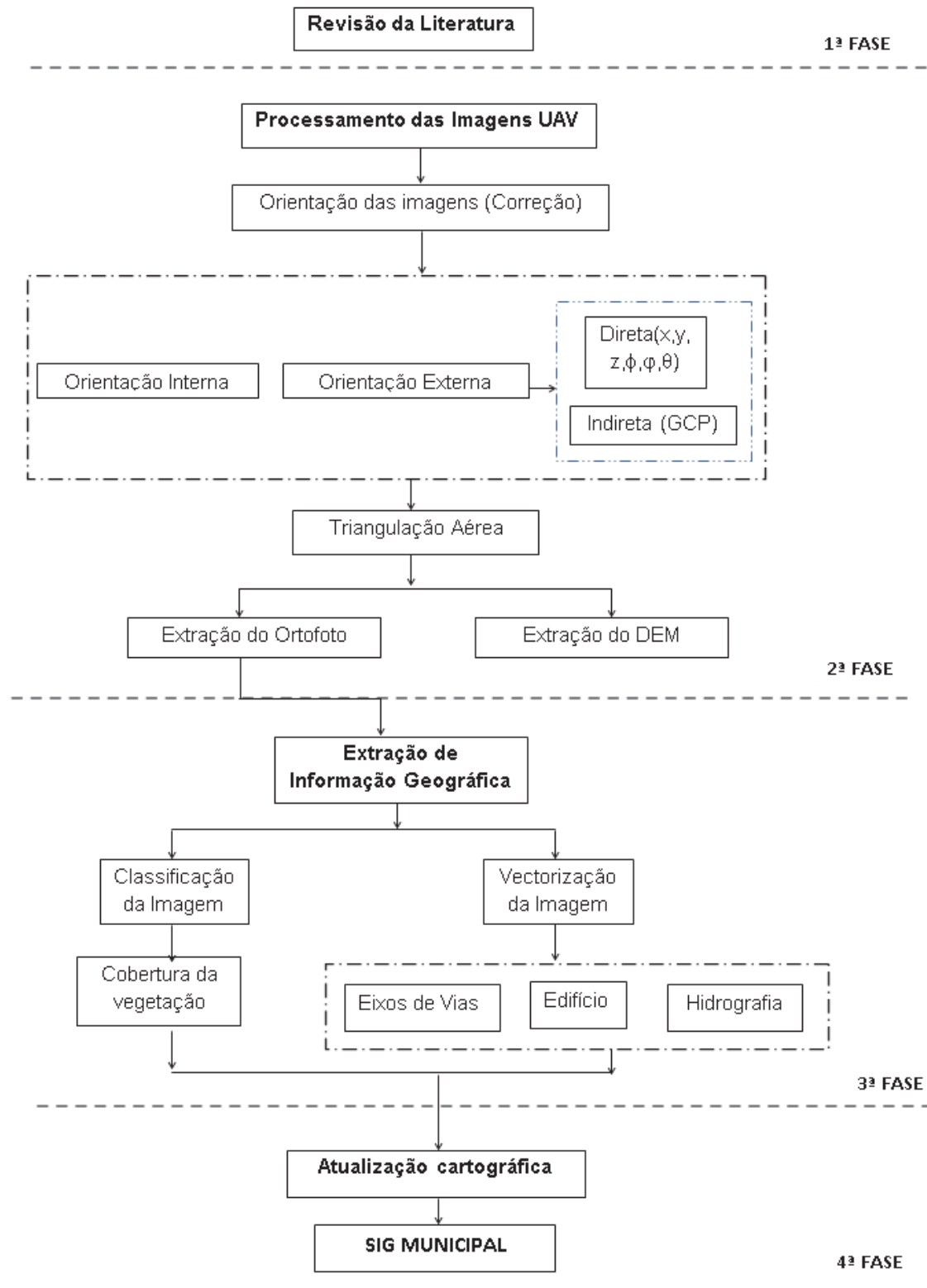


Figura 9 - Fluxograma da metodologia de trabalho

4.1.3 Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo corresponde ao município de Malanje, capital da província de Malanje. A província situa-se no norte de Angola, possui 98.302 km² de área e uma população estimada em 1549000 habitantes. A cidade de Malanje sede da província é limitada a norte pelo município de Cuasa Nzoge, a este pelo de Mucari, a sul pelos municípios de Cangandala e Mussunde e a oeste por Cacuso e Calandula. A altitude da zona varia de 500m a 1500m em relação ao nível do mar.

A área de estudo selecionada para este trabalho localiza-se precisamente no Bairro Carreira de Tiro, pertencente ao município de Malanje (figura 10), entre as longitudes 16°32'E a 16°33'E e latitudes 9°53S a 9°51S, correspondendo uma área de aproximadamente 2 km², e caracterizada por uma variedade no uso e ocupação do solo. Trata-se de uma área onde se verifica em termos de solo ocupado, área de coberturas vegetal e artificializadas. A cobertura vegetal corresponde a zonas de vegetação herbácea, árvores isoladas, assim como áreas agrícolas com cultura e solo lavrado, sendo que áreas artificializadas incluem edifícios de diferentes usos e vias de comunicação rodoviárias e ferroviárias.

A escolha desta área justifica-se fundamentalmente pelo facto de se verificar uma dinâmica de expansão urbana muito elevada nos últimos anos. A mesma apresenta em termos de urbanização característica de uma zona que foi ocupada de forma desordenada, resultando na desatualização completa da cartografia de base da zona. Teve-se ainda em atenção o facto de já existir para esta zona um ortofoto obtido por levantamento aéreo convencional assim como imagens aéreas adquiridas por VANTs.

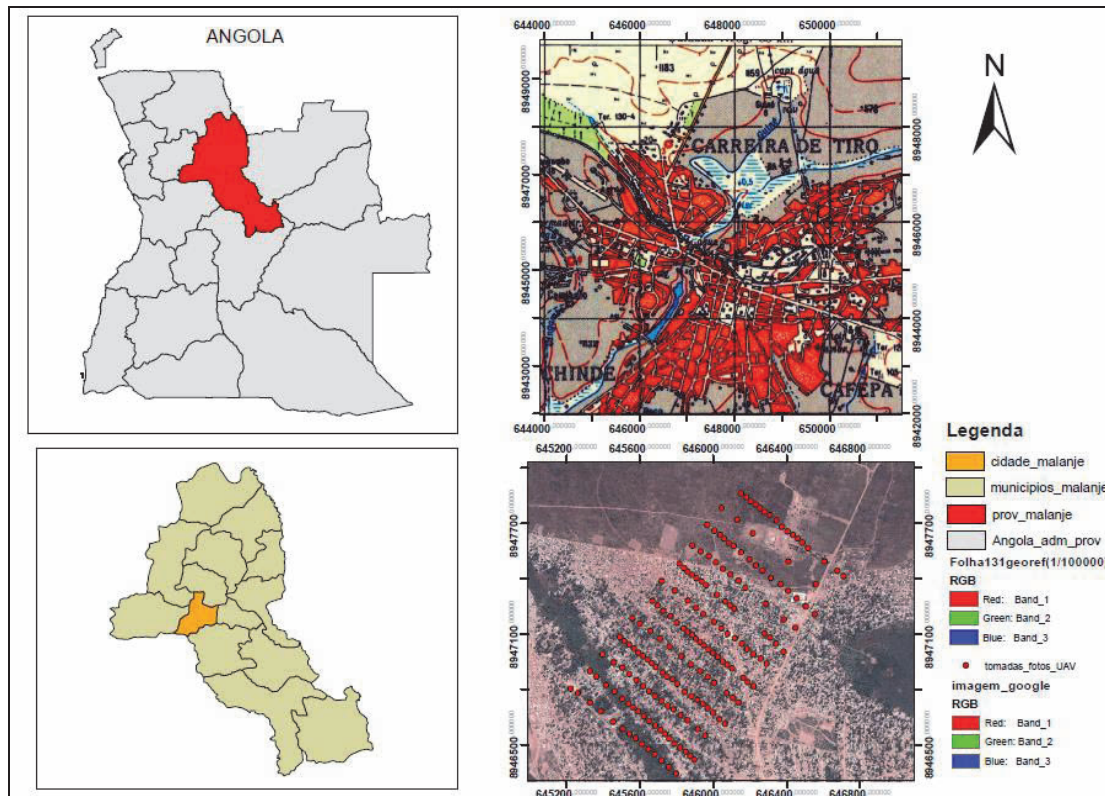


Figura 10 - Localização da área de estudo

4.1.4 Material utilizado no trabalho.

Qualquer atividade cartográfica assenta na disponibilidade de informação geográfica que caracteriza o território. Assim sendo, para este trabalho foram usados seguintes dados:

- 180 Fotografias aéreas obtidas com VANT, em que cada uma possui 4000*3000 de dimensão e com uma representação de cores em RGB em formato jpg.
- Um ficheiro geotag (proveniente do sensefly) com informações GPS e INS da cada fotografia.
- Ortofoto de 2011 (processamento fotogramétrico convencional) de três bandas espectrais (RGB) (tabela 4).
- Ortofoto de 2005 (processamento fotogramétrico convencional) de três bandas espectrais (RGB).
- Uma carta topográfica da cidade na escala 1/100000.

- Uma imagem do GoogleEarth com os limites da zona de estudo.
- Um conjunto de arquivo ficheiros vetorial em formato shapefile correspondente a diviso administrativa da rea de estudo.

Tabela 4 - Dados do ortofoto 2011

Escala de Voo:	1/8000
Escala de Restituio:	1/2000
Tamanho do Pixel:	0.12cm
Sistema de Referncia:	WGS84 UTM Zona 33S
Triangulao area:	Apoiada com GPS de dupla frequncia

4.2 Aquisio dos Dados VANT

O processo de aquisio de imagens digitais a primeira etapa do processo fotogramtrico, pois atualmente nas plataformas aereas, as camaras digitais so eletronicamente conectadas ao computador e sincronizadas com a estao de controle.

Para obtenao das imagens foi usado um sistema VANT denominado Swinglet (figura 11), fabricado pela Sensefly. O sistema possui as seguintes caractersticas: peso inferior a 500g, envergadura de luz, chip U-Blox GPS, sensor de atitude, camara de 12 megapixel, transmissor de rdio e uma placa de circuito com piloto automtico (figura 11). O piloto automtico permite conduzir o VANT automaticamente sobre uma determinada trajetria, permitindo desta forma capturar as imagens, e ainda assim gerenciar a camara para permitir boa coordenao. As especificaes da camara so apresentadas da tabela 5. (Vallet , Panissod et al., 2011)

O Swinglet a lanado com as mos, o que o torna especial e rpido para implantar, comparado com outros sistemas que requerem equipamentos de lanamento. Este sistema pode alcanar uma velocidade nominal de 10m/s sendo capaz de operar em vento fraco (inferior a 20km/h) e possui uma autonomia de 30 minutos de voo, chegando atingir altitude at 1500m dependendo de tipo de trabalho que se pretende (Vallet , Panissod et al., 2011).

O processo de aquisição das imagens engloba um conjunto de ações pré-programadas de maneira à diminuir o risco das imagens saírem desfocadas devido a vibração e turbulência ou ainda fatores relacionados com o clima.



Figura 11 - Sistema VANT usado no trabalho (Swinglet)

O Swinglet vem acompanhado com software chamado e-mo-tion que permite a comunicação por radio de 2.4 GHz e com alcance de aproximadamente 2km ao piloto automático. O software permite fazer a programação de voo de forma manual e automática por outro lado permite exibir a tomada das imagens em tempo real, permitindo desta forma o controle visual de cobertura do solo e sobreposição das fotos.

Além dos sensores de navegação, o VANTs está equipado com uma camara digital. A camara fotográfica corresponde a um dos principais dispositivos no campo da fotogrametria. As camaras podem ser divididas em métricas e não métricas do ponto de vista da geometria.

As camaras métricas são compostas por lentes métricas de alta qualidade e são utilizadas apenas para fins de mapeamento. Enquanto as não métricas têm sido usadas mais frequentemente em projetos Fotogramétricos (Junior, Marques et al. 2009). Estas camaras proporcionam algumas vantagens tais como: baixo preço comparando com as métricas, tamanho pequeno, leve e fácil manuseio.

Para esta misso de aquisio das imagens no Swinglet foi integrado uma camara de pequeno formato (figura 12), automática Canon IXUS 1201S no métrica com auto-focagem e ajuste de abertura de velocidade, que é desligado durante a decolagem e aterragem para proteger a camara.



Figura 12 - Camara fotográfica digital

Tabela 5 - Especificaoes da camara fotográfica

Item	Valores
Sensor de imagem	Cano IXUS 1201S
Resoluo	12 megapixel
Distância focal/mm	5-20
Tamanho CCD/mm	6.16x4.62
Tamanho do pixel/ μm	1.54
Formato de gravao	JPEG

A calibrao da camara  uma característica principal na restituo tridimensional dos objetos, sendo que a qualidade dos resultados depende de vários fatores, principalmente na configurao das imagens. Os parâmetros de calibrao da camara no representam um pré-requisito para a restituo tridimensional. Portanto, a ferramenta usada neste trabalho no necessita do conhecimento prévio destes parâmetros, pois utiliza para tal apenas informao EXIF das fotografias. Assim sendo, apenas so necessários se se pretender fazer a georreferenciao direta.

4.2.1 Aquisio das imagens VANT

Antes da aquisio dos dados  necessário certificar-se das informaoes meteorológicas e condioes atmosféricas. O ideal é realizar a misso de voo em dias de sol e sem vento. Além destas informaoes alguns parâmetros so determinados previamente. O tamanho do pixel por exemplo pode ser lido diretamente a partir da informao EXIF das fotografias. Algumas ferramentas permitem posterior refinamento dos dados com base na análise geométrica das fotografias obtidas.

Em caso em que seja necessrio calcular o tamanho do pixel, se deve ter em conta os seguintes parmetros: distncia focal, altitude de voo e o tamanho da imagem em pixel. O tamanho do tamanho do pixel (μ) em *mm/pixel* de uma imagem digital é efetuado com base na expresso:

$$\mu = \frac{GSD \times f}{H} \quad (4.1)$$

Onde H corresponde a altitude de voo, f a distncia focal, GSD é a distncia amostral do terreno. Geralmente a distncia focal e o tamanho do pixel da camara digital são valores fixos. Além destes parmetros, a escala da fotografia deve ser encontrada de tal maneira que seja possvel determinar a cobertura da imagem.

Segundo Wolf and Dewitt (2000), a escala de uma fotografia vertical é a razo de uma distncia de na fotografia e a sua correspondente distncia no terreno. Devido ao fato do terreno apresentar-se de forma irregular a escala irá variar conforme estas irregularidades. Portanto, a escala definida será uma escala média, a partir da altitude média do voo. A escala deve ser expressa em termos da distncia focal da camara (f) e altitude média de voo (H_m).

$$S = \frac{ab}{AB} = \frac{f}{H_m} \quad (4.2)$$

Com base nos parmetros acima mencionados, pode-se determinar a cobertura da imagem, multiplicando ao valor do denominador escala pela dimenso da imagem digital.

Antes de qualquer missao de voo para levantamento fotogramtrico, seja por veculos tripulados ou no tripulados é necessrio ter estas informaes, pois permitem apresentar solues mais viáveis.

O levantamento aéreo foi realizado do dia 21 de Agosto de 2012 na cidade de Malanje no bairro carreira de tiro (cidade de Malanje). As imagens foram obtidas tendo em conta as seguintes etapas:

- Estudo preliminar da área de estudo
- Plano do voo
- Execuo do levantamento aéreo

O estudo preliminar da área de estudo foi feito com base em imagens do GoogleEarth , permitindo a delimitao da área de interesse e verificao de possveis problemas

para o VANT tais como: obstculos naturais (zonas de difcil acesso), cabos eltricos, etc. Esta anlise de extrema importncia pois a partir destas informaes que de possvel fazer-se a planificao adequada da trajetria do VANT.

O plano de voo foi realizado de tal maneira que houvesse a mxima sobreposio entre as imagens. Para rea de estudo foram definidas 12 linhas de voos comprimento aproximado de 900m e 125m de largura. (figura 13)

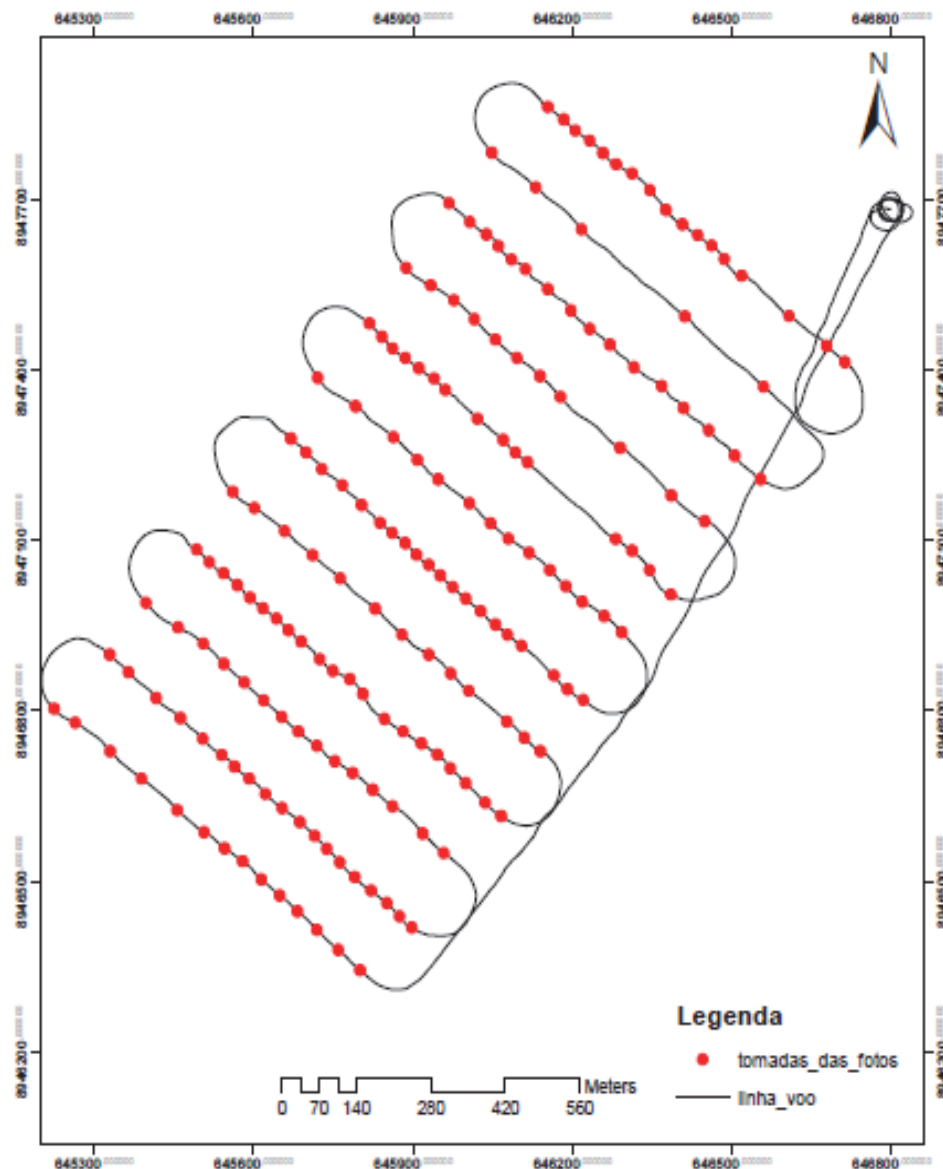


Figura 13 - Plano de voo e tomadas das fotografias

As imagens digitais foram adquiridas com sobreposio transversal de aproximadamente de 60% e longitudinal de 80%, e com uma altitude mdia de 160m. Para esta missao foram obtidas 185 imagens, sendo que cada uma dela possui dados auxiliares (tabela 6), que incluem nmero de imagens, longitude e latitude obtidas com

sistema GPS, altitude e dados de orientao da aeronave (pitch,roll e hading) conforme se pode observar na tabela 6.

Para este trabalho a missao de voo foi realizada de forma autonoma. Basicamente esta missao consiste em utilizar dois operadores para aquisio de imagens. O primeiro operador responsvel em controlar o aparelho (VANT) durante o lanamento e aterragem, de maneira a evitar danos ao mesmo. O segundo e responsvel pela estao de navegao, para desenhar a linha de voo da rea de estudo e monitorar o aparelho. A missao de voo teve a durao de 20 minutos.

Tabela 6 - Dados provenientes do VANT

fileName	longitude	latitude	heigth_wgs84	heading	pitch	roll
IMG_2790.JPG	16.3366	-9.5197	1409.4600	310.8200	3.3500	0.3700
IMG_2791.JPG	16.3363	-9.5194	1405.9100	311.6500	-0.4200	-9.6000
IMG_2792.JPG	16.3357	-9.5189	1406.8100	291.6900	-9.8500	-6.7000
IMG_2793.JPG	16.3349	-9.5183	1401.4600	265.5400	-0.8000	-3.5300
IMG_2794.JPG	16.3346	-9.5180	1405.7300	318.3300	-3.1900	0.1200
IMG_2795.JPG	16.3344	-9.5178	1406.3300	302.9400	5.0200	-8.7600
IMG_2796.JPG	16.3341	-9.5177	1406.7500	302.0100	6.4600	0.4200
IMG_2797.JPG	16.3339	-9.5175	1409.4100	301.4600	6.9100	-0.5400
IMG_2798.JPG	16.3336	-9.5173	1408.5900	321.2900	10.8700	2.5300
IMG_2799.JPG	16.3333	-9.5169	1406.4000	317.4700	11.8600	0.1200
IMG_2800.JPG	16.3330	-9.5167	1402.3000	297.7200	12.1800	2.8900
.
.
IMG_2969.JPG	16.3280	-9.5290	1398.7900	127.0600	8.2500	1.6900
IMG_2970.JPG	16.3284	-9.5294	1396.1100	129.6400	11.0000	0.7600

4.3 Processamento das imagens VANT

Nesta etapa do trabalho o objetivo principal é minimizar os erros provenientes do processo de aquisio das imagens bem como os erros associados às distorões da lente da camara fotografica. O processo de calibraão da camara não foi realizado neste trabalho, portanto, análises em relao as distorões da camara não são abordadas neste trabalho. O processamento das imagens obtidas com VANTs foi implementado com base na metodologia apresentada na figura 14.

Antes do início do processamento devem ser verificadas as imagens. Algumas imagens podem apresentar alguns problemas de qualidade, devido a altitude voo, tais como; desfocagem das imagens, erros de balanceamento de cores, originados durante a missao de voo. Portanto, se a qualidade da maior parte das imagens não for boa, o ideal será realizar uma nova missao. Para este trabalho as imagens disponíveis encontram-se todas em boas condições, isto permitiu prosseguir com o processamento.

Como é habitual as técnicas de processamento fotogramétrico de fotografias aéreas envolvem as seguintes fases: orientao interna, orientao externa, triangulaao aérea e geraao do ortofoto e DEM. A orientao interna envolve fundamentalmente informao sobre os parâmetros de calibraao da camara tais como: distância focal, tamanho do pixel, coordenadas do ponto principal, distorao radial e tangencial das lentes, assim com o fator de escala (Berberan, 2003). Estes parâmetros devem ser definidos antes do processamento.

A orientao externa, está relacionada com a criaao do modelo estereoscópico, Esta fase envolve algoritmo de correlao das imagens de tal forma a transferir os pontos de ligao entre as imagens (Tahar, 2012). Os pontos de ligao permitem o alinhamento de todas imagens adquiridas na mesma condio em que as imagens foram tiradas durante a missao de voo.

Segundo Calisto (2013) no processamento destas imagens usam-se metodologias clássicas associadas à fotogrametria digital convencional, com adaptaao da computao gráfica. Neste caso as imagens VANTs são processadas por algoritmos computacionais que permitem o reconhecimento de padrões entre as imagens e reconstruo tridimensional das cenas.

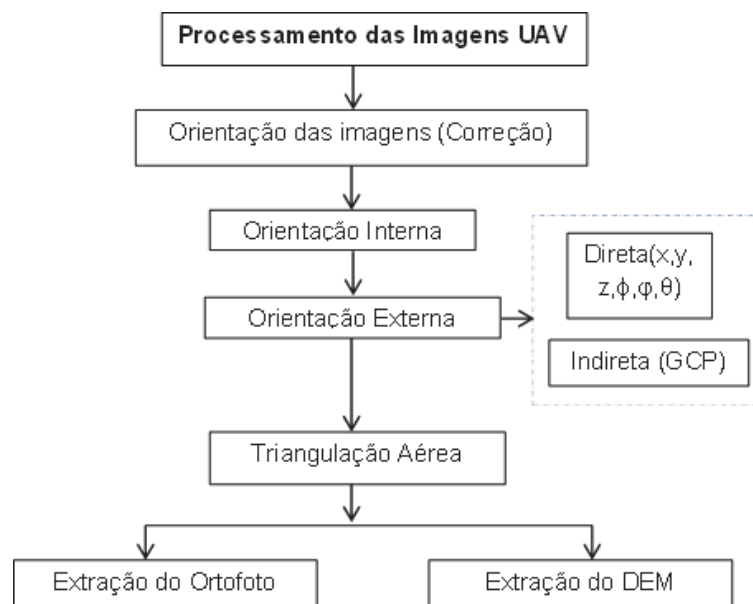


Figura 14 - Fluxograma de Processamento das imagens VANT. adaptado(Tahar and Ahmad 2011)

As missões de voo dos VANTs, geralmente são planificadas de tal maneira que as imagens sejam as mais verticais possíveis. Esta condio pode não ser obtida, devido ao tipo de VANTs usado, neste caso o pouco peso interfere significativamente no alinhamento e atitude de voo.

Como pode-se constatar na figura 13, o VANT usado para este trabalho, apresenta um alinhamento irregular, originado principalmente pelas condies atmosféricas e pelo peso da própria aeronave.

Esta irregularidade da linha de voo interfere na sobreposio das imagens, isto é, a taxa de sobreposio é muito elevada da direao lateral, originados desta forma alguns erros.

Além destes existem os erros associados as distorões geométricas (interna e externa). A distorão interna é causada pelo sensor, incluindo a distorão das lentes, falta alinhamento, assim como a variao da rota. Por outro lado a distorão externa é causada pela variao da altitude e posio da plataforma, curvatura da terra, perspectiva e geometria (Eisenbeiss, 2009).

Portanto, estes erros em alguns casos são superiores aos estabelecidos pelas normas internacionais para determinado tipo de trabalho.

O processamento das imagens VANT para corrigir os erros ao minimizá-los constitui uma das tarefas principais, visto que a qualidade e preciso dos resultados está diretamente relacionado com esta etapa do trabalho.

O processamento das imagens para este trabalho foi realizado de forma automática, usando o software fotogramétrico Agisoft PhotoScan.

4.3.2 Orientao das Imagens

Nas imagens obtidas por VANTs, o processamento continua a ser uma das umas questes muito abordada em vrios trabalhos. Precisamente porque alguns problemas podem ocorrer durante a aquisio das imagens e tambm devido ao fato de nem todos softwares de fotogrametria serem destinados para o processamento.

O conceito de orientao das imagens VANTs, assim como nas imagens obtidas por levantamento fotogramétricos convencionais está relacionado com a correo das imagens. Para as imagens obtidas por VANTs, a correo consistiu na georreferenciao das imagens. A georreferenciao confere atributos espaciais para cada pixel da imagem de tal maneira a ligar as imagens a coordenadas do mapa(Watts, Perry et al. 2010). Para este trabalho a georreferenciao foi efetuada de acordo ao fluxograma da figura 15.

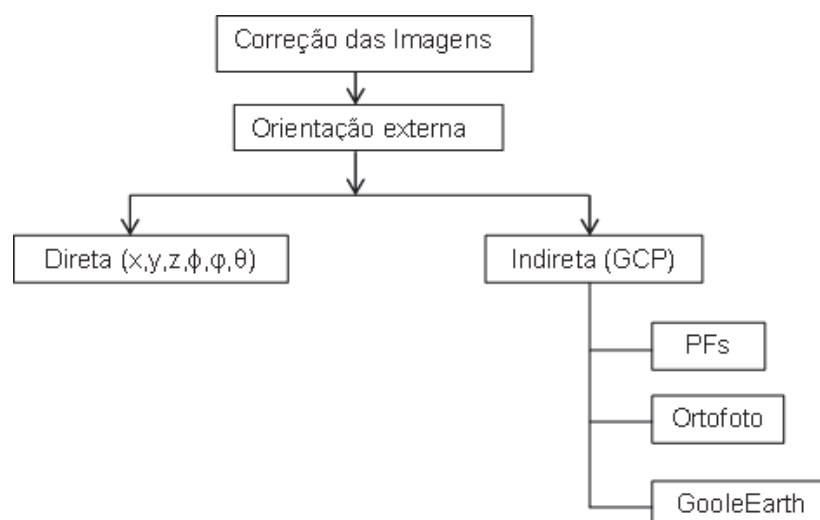


Figura 15 - Fluxograma da Georreferenciao das imagens

O processo de georreferenciao direta foi realizado com os dados provenientes do sensor aereo (GPS/INS), correspondente a posio e atitude da camara, conforme a tabela 6. Enquanto o processo de georreferenciao indireta e realizado com pontos de controlo Ground Control Point(GCP) obtidos por levantamento de campo GPS ou a partir de um ortofoto.

4.3.3 Processamento das imagens com software Agisoft

Photoscan

As imagens obtidas com VANTs foram todas processadas usando o software Agisoft PhotoScan Pro. O software baseia-se na reconstituio tecnologica visual 3D, que pode ser operada com imagens calibradas ou no calibradas em ambas condies controlada ou no controlada.

Os procedimentos da orientao automatica usando o Agisoft Photoscan foi realizada com base nas seguintes etapas:

- A primeira fase corresponde ao alinhamento das fotografias. O algoritmo do Agisoft consiste em procurar pontos homlogos (matching points) entre as fotografias e faze-los corresponder, bem como encontrar a posio da camara em cada fotografia, e refinando em seguida os parmetros de calibrao da camara (figura16). O alinhamento das fotografias foi definido com a preciso mdia e como resultado obteve-se uma nuvem de pontos dispersa.
- A fase seguinte foi a construo da geometria do modelo baseada na posio da camara e uma malha de polgonos das fotografias, representando a superfcie dos objetos. O software apresenta trs algoritmos para gerar a malha de polgonos: Arbitrary - Smooth, Arbitrary - Sharp, height field - Smooth and Height field – Sharp. Para este trabalho foi definido a opo Sharp para todos casos.
- Feita a construo da malha de polgonos, ela pode ser texturizada ou utilizada para gerar ortofotos.

No foram testadas as opoes com maior preciso (higher accuracy e ultrahigher accuracy) para o alinhamento das fotografias bem assim como para construo do modelo. Para tal seria necessrio um computador com processador mais potente e com quantidade de memria RAM suficiente.

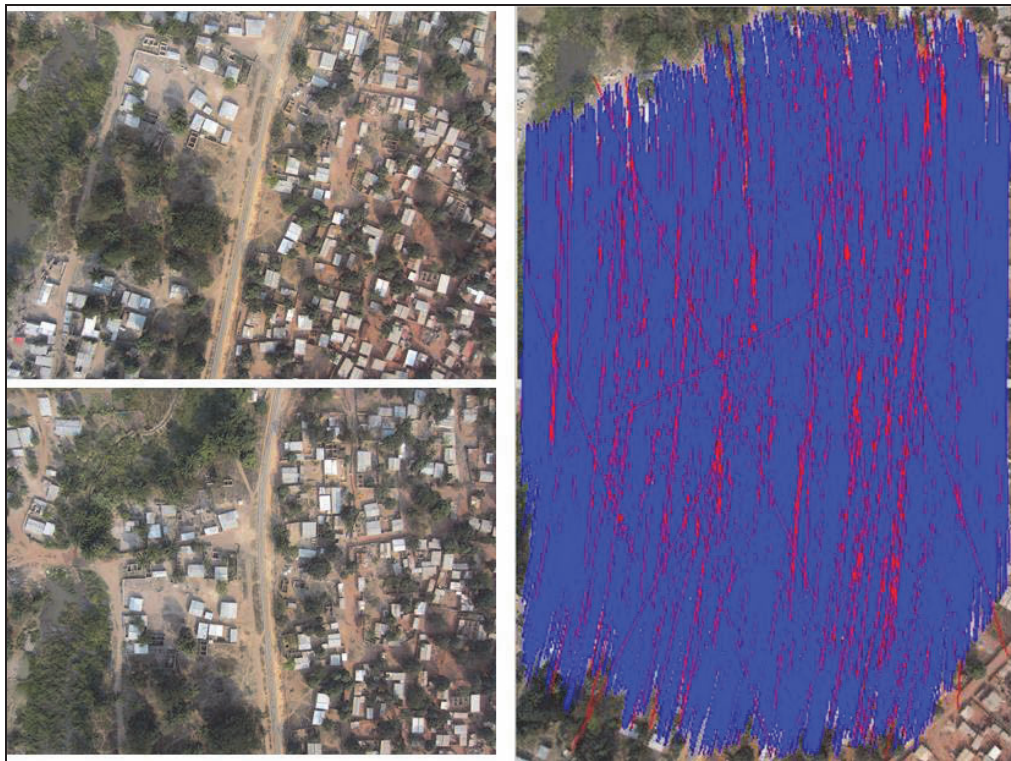


Figura 16 - Identificação de pontos homólogos (Matching) entre as fotografias 2960 e 2960

4.3.4 Processamento das imagens de Malanje

O processamento das imagens para áreas de estudo foi realizado de acordo ao fluxograma 15 o primeiro consistiu em orientar as imagens com base nos dados provenientes da aeronave, isto é, os dados dos sensores GPS/INS que fornecem as coordenadas e a atitude da camara (X,Y,Z, pith ,roll , hading).

Para a primeira abordagem que, foi sem pontos de controlo, foram processados 180 fotografias aéreas que correspondem área de estudo.

Para processar as mesmas imagens com base na segunda abordagem, primeiro foi necessário estabelecer pontos de controlo. Os pontos de controlo foram estabelecidos somente na área correspondente aos pontos cotados, pois foi a única maneira de obter as cotas dos pontos de controlo. Visto que para a restante área apenas a informação planimétrica encontrava-se disponível.

Para este trabalho não se obteve pontos de controlo em campo por meio de levantamento GPS. Portanto, a solução apresentada foi de estabelecer pontos de controlo a partir do ortofoto de 2011 e dos pontos cotados existentes na área de

estudo figura 17. Assim sendo, as coordenadas planimtricas foram extraidas do ortofoto enquanto que a altimetria foi obtida a partir dos pontos cotados.

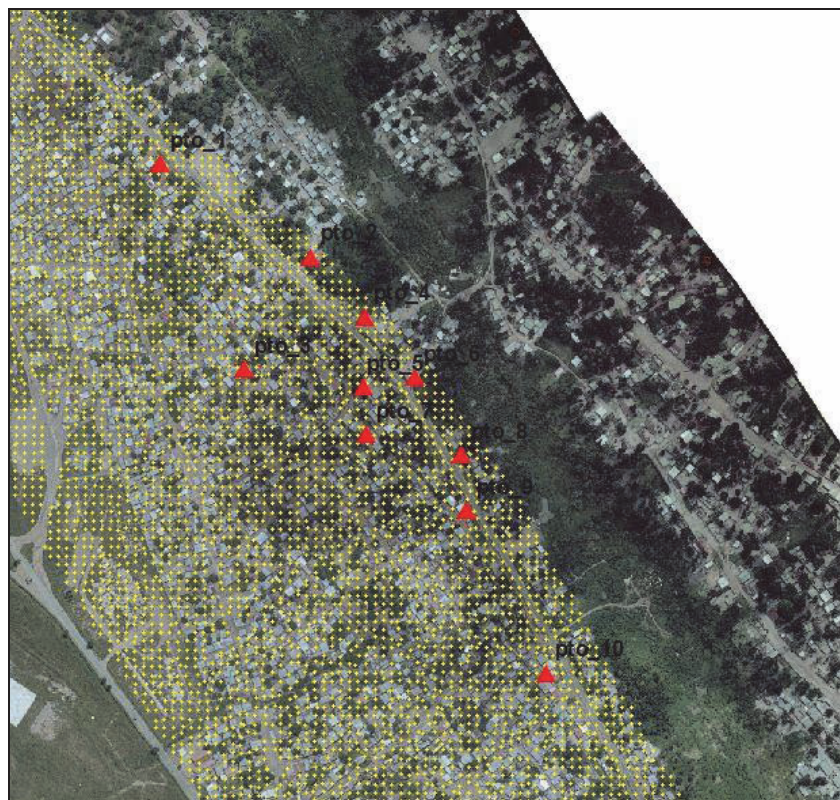


Figura 17 - Pontos de control sobrepostos ao ortofoto

As coordenadas planimtricas extraidas do ortofoto de 2011, encontravam-se em UTM, para processar as imagens foi necessrio converte-la para coordenadas geograficas, para uniformizar com as coordenadas provenientes do VANT. Para tal foi usado o programa Proj com a seguinte sintaxe:

```
proj +ellps=WGS84 +proj=utm +zone=33 +south < pto_gwinglet.txt >ptos_utm_cart.txt
```

O procedimento para extrao das cotas no foi realizado de forma imediata, pelo facto de no haver coincidncia entre os pontos de controlo estabelecidos e a malha de pontos cotados obtida por restituio fotogramtrica. (figura 17). Portanto, para contornar esta situao, criou-se uma TIN(Triangulated Irregular Network) usando as ferramentas do Arcgis. Os locais escolhidos para estabelecimentos dos pontos de controlo foram os vrtices dos muros de quintais e alguns pontos prximos aos edifcios com alguma geometria mais ou menos definida tabela 7.

Tabela 7 - Coordenadas planimtricas e altimtricas extraídas do ortofoto de 2011

Ponto	longitude(°)	latitude(°)	Altitude(m)
1	16,323	-9,525	1286,491
2	16,324	-9,526	1281,061
3	16,323	-9,527	1284,398
4	16,325	-9,527	1280,133
5	16,325	-9,527	1280,253
6	16,325	-9,527	1277,730
7	16,325	-9,528	1279,962
8	16,326	-9,528	1275,351
9	16,326	-9,529	1275,889
10	16,327	-9,530	1275,123

Segundo Berberan (2003) os pontos de controlo adequados para definir as coordenadas planimtricas e altimtricas so interseces de passeios e caminhos de p post, caixas de visita, cruzamento de ruas, arbustos pequenos isolados, pedras grandes e isoladas, cantos de edifcios, de muros de vedao, postes e tantos outros. Os edifcios ou elementos muito altos devem ser evitados principalmente se no esto localizados na regio central da imagem, apresentarao um desvio angular muito alto em relao ao sensor. Alm disso, problemas de deformao tangencial, podem ocorrer, causando importantes problemas de ocultao entre fotografias.

Portanto, devido as caractersticas da rea de estudo, onde de maneira geral os elementos apresentados no se verificam, foram definidos como pontos de controlo as interseces de vedaes e esquinas das edificaes (Anexo C).

Obtidas as coordenadas dos pontos de controlo, passou-se em seguida ao processamento das imagens no Agisoft PhotoScan, com base na segunda abordagem, isto , usando pontos de controlo. Portanto, estas coordenadas foram usadas especificamente na fase da orientao externa, assim como referido na secção anterior. Os pontos de controlo foram identificados em toda as imagens e colocados marcadores manualmente. Este procedimento permite obter melhores resultados da reconstruo do modelo e efetuar a georreferenciao de uma maneira precisa.



Figura 18 - Pontos de controlo sobre o ortofoto(Malanje)

O resultado desta operao e a reconstruo do modelo tridimensionalmente.

A fase seguinte foi o processamento das mesmas imagens usando pontos extraídos do GoogleEarth (tabela 8). Assim sendo, os pontos usados no caso anterior foram identificados no Googleearth, e por meio de um ficheiro .kml exportado para o GoogleEarth, conseguiu-se localizar os pontos e obter as coordenadas planimétricas e altimétricas. Para área de estudo a imagem do GoogleEarth não apresentava uma resolução espacial que permitisse identificar os pontos de controlo com alguma facilidade. Obtidas as coordenadas, assim como no caso anterior seguiu-se o processamento das imagens, com a realizao todas as fases posteriores à orientao externa.

Tabela 8 - Coordenadas planimtricas e altimtricas extraidas do Googleearth

Ponto	longitude(°)	Latitude(°)	Altitude(m)
1	16,323	-9,525	1160
2	16,324	-9,526	1153
3	16,324	-9,527	1158
4	16,325	-9,527	1153
5	16,325	-9,527	1153
6	16,325	-9,527	1151
7	16,325	-9,528	1153
8	16,326	-9,528	1149
9	16,326	-9,529	1149
10	16,327	-9,520	1148

4.3.4 Processamento das imagens de Coimbra (Validao da metodologia)

Para validar a metodologia proposta neste trabalho procedeu-se ao processamento das imagens obtidas com VANT de Coimbra. Estes dados foram usados porque o levantamento aereo foi acompanhado por um levantamento de campo, realizado com GPS de dupla frequencia.

O levantamento de campo serviu para estabelecer no terreno pontos de controlo, para servir de apoio na orientao das imagens durante o processamento. Os pontos foram levantados no sistema de referncia ETRS89 e em coordenadas cartesianas geodesicas. Foram definidos 9 pontos de controlo, distribuidos ao longo da area levantada de tal maneira que estivessem o mais distribuido possiveis. Os mesmos foram implantados em lugares bem definidos, tais como: vertices de passeios e quintais, sinais de transitos horizontais.

Estes valorem antes de serem usados pelo Agisoft PhotoScan, foram convertidos para coordenadas geograficas, usando a ferramenta do proj, isto porque as coordenadas GPS fornecidas pelo VANT encontram-se neste sistema de coordenadas. Assim sendo, a conversao foi realizada com base na seguinte sintaxe:

```
proj -f %.8f +proj=tmerc +lat_0=39.6682583333333 +lon_0=-8.13310833333333 +ellps=GRS80 +towgs84=0,0,0 -l < gcp2_coimbra.txt >gcp2_coimbra_Geg.txt
```

A tabela 10 contem as coordenadas dos pontos.

Tabela 9 - Pontos de controlo obtidos com GPS (Coimbra)

PF	Longitude(°)	Latitude(°)	Altitude(m)
GCP01	-8,421	40,210	63,209
GCP03	-8,421	40,208	74,970
GCP07	-8,420	40,209	66,072
GCP08A	-8,419	40,211	89,055
GCP09A	-8,418	40,208	89,384
GCP11	-8,417	40,211	82,271
GCP12A	-8,417	40,210	82,250
GCP14A	-8,417	40,211	81,271
GCP15	-8,417	40,209	80,134

O processamento das imagens foi realizado com base na metodologia apresentada na figura14, para tal foram usadas 41 imagens. Ao contrrio do caso anterior, o processamento foi realizado usando pontos de controlo obtidos do campo. Apenas foram utilizados quatro pontos de controlo distribuidos ao longo da rea que cobre as 41 imagens. Os pontos foram introduzidos no Agisoft PhotoScan depois do alinhamento das imagens, permitindo desta forma o processamento das fases seguintes.



Figura 19 - Pontos de controlo sobre o ortofoto(Coimbra)

Como resultado obteve-se um ortofoto e o modelo digital de elevao (DEM), que sero abordados com maior detalhe no capitulo da discusso dos resultados.

4.3.5 Produtos obtidos do processamento das imagens VANT

Cumpridas todas fases do processamento e reconstruido o modelo com o Agisoft, foram gerados os produtos pretendidos, o Ortofoto e o DEM. Como j foi referido anteriormente que o software utilizado baseia-se em correlaes automticas das imagens para construir um modelo 3D a partir de pontos homlogos entre as imagens.

O modelo digital de elevao usando AgisoftPhotoScan foi determinado de forma automtica. Alguns softwares permitem definir resoluo geomtrica durante o processamento, por exemplo: Socet Set, enquanto o AgisoftPhotoScan para esta questo apresenta uma soluo que consiste em escolher a qualidade que se pretende com base nos parmetros Ultra High, High, Medium, e Low e nmero mximo da malha constituda por pequenos polgonos. Para processar os dados de Coimbra e de Malanje foi definido como qualidade pretendida “Medium” e para malha de polgonos 200000. Estes parmetros foram escolhidos apenas porque o computador utilizado no apresentava placa grfica que pudesse suportar as opes mas avanadas. Para o tipo de aplicao proposta para este trabalho, a opo de qualidade “Medium” pode ser usado. No caso de aplicaes em que se exige precises elevadas para o DEM, por exemplo, para monitoramento da topografia de reas costeiras (Goncalves e Henriques 2013) as opes “High ou Ultra High” seriam as ideais.

O mosaico do ortofoto usando imagens VANT foi gerado com base na abordagem tradicional da Fotogrametria, baseado em obter primeiro o modelo digital de elevao. Assim como o DEM, o mosaico ortofoto foi gerado de forma automtica usando o AgisoftPhotoScan. Depois do alinhamento das imagens e a reconstruo do modelo 3D, o ortofoto criado completamente de forma automtica.

O software suporta duas opes para gerar o ortofoto que so: “Average” e “Mosaic”. Para gerar os ortofotos para este trabalho, utilizou-se a opo “Mosaic”. Este mtodo usa para cada pixel do ortofoto apenas uma foto de entrada e usa-lo para peas maiores do que as superfcies de um pixel (Koska and Kremen 2013). Assim sendo a entrada de uma imagem para outra imagem vizinha so misturadas, ou seja no se consegue ver os limites entre os blocos que formam o mosaico do ortofoto.

A gerao do DEM e do ortofoto para Malanje foi realizada com base nas duas abordagens do processamento das imagens, isto , primeiro com a utilizao apenas dos dados geotag proveniente da aeronave, e o segundo com a utilizao de pontos

de controlo. Para Coimbra teve-se em conta apenas a segunda abordagem, visto que o objetivo era validar a metodologia de trabalho.

4.4 Extração de informao geogrfica a partir do Ortofoto (Malanje)

Antes de se proceder ao processo de extração de informao geogrfica, foi realizado a fotointerpretao visual do ortofoto. Nesta etapa do trabalho o objetivo foi identificar os elementos que pudessem ser extraídos da imagem. Verificou-se que ruas, edificaes, rvores isoladas, linha de caminho-de-ferro, foram mais fcies de serem identificados, pois apresentavam configuraes mais definidas. Por outro lado havia tambm alguns elementos no muito bem definidos, como por exemplo; edificaes muito prximas ou encostadas aos muros, rvores e telhados de edificaes com alguma distorao, originada durante processo de ajuste do ortofoto, conforme é apresentado na figura 20.



Figura 20 - Pormenor do ortofoto com objetos "desfocados"

A fase seguinte correspondeu a extração de informao geogrfica. O processo de extração de informao foi realizado com base em dois mtodos: vectorizao manual e extração automtica (classificao temtica). A vectorizao manual consiste em um operador usando um cursor capturar elementos a partir de uma imagem raster (figura 21). Este processo ainda é o mtodo mais simples, fcil e barato de capturar dados vetoriais a partir de mapas existentes (Longley, Goodchild et al. 2007).

Neste trabalho a vectorizao foi realizada sobre o ortofoto de 2011 obtido por meio de restituio fotogramtrica e o ortofoto obtido pelo processamento das imagens de VANT da rea de estudo. Nas duas imagens a vectorizao foi efetuada com o software ArcGis 10.0 verso para estudantes, propriedade da ESRI.

Foram definidos para vectorizao manual os seguintes planos de informao: edificaes, estradas, hidrografia, rvores isoladas e linha de caminho-de-ferro. As edificaes foram definidas de uma forma geral, por no se ter informao exata de cada um dos polgonos, embora se conheaa as caractersticas de ocupao de solo (rea residencial) da rea de estudo. Este elemento no pode ser generalizado pois no mesmo local, alm de residncias existem edificaes com outras finalidades.

Vetorizou-se as estradas como sendo do tipo “A” e “B”, pelas caractersticas que as mesmas apresentavam. Visto que o sistema virio irregular e com ausncia de asfalto, no cumprimento desta forma com os padres de urbanizao. Assim sendo, as estradas do tipo “A” foram definidas com principais e as do tipo de “B”.

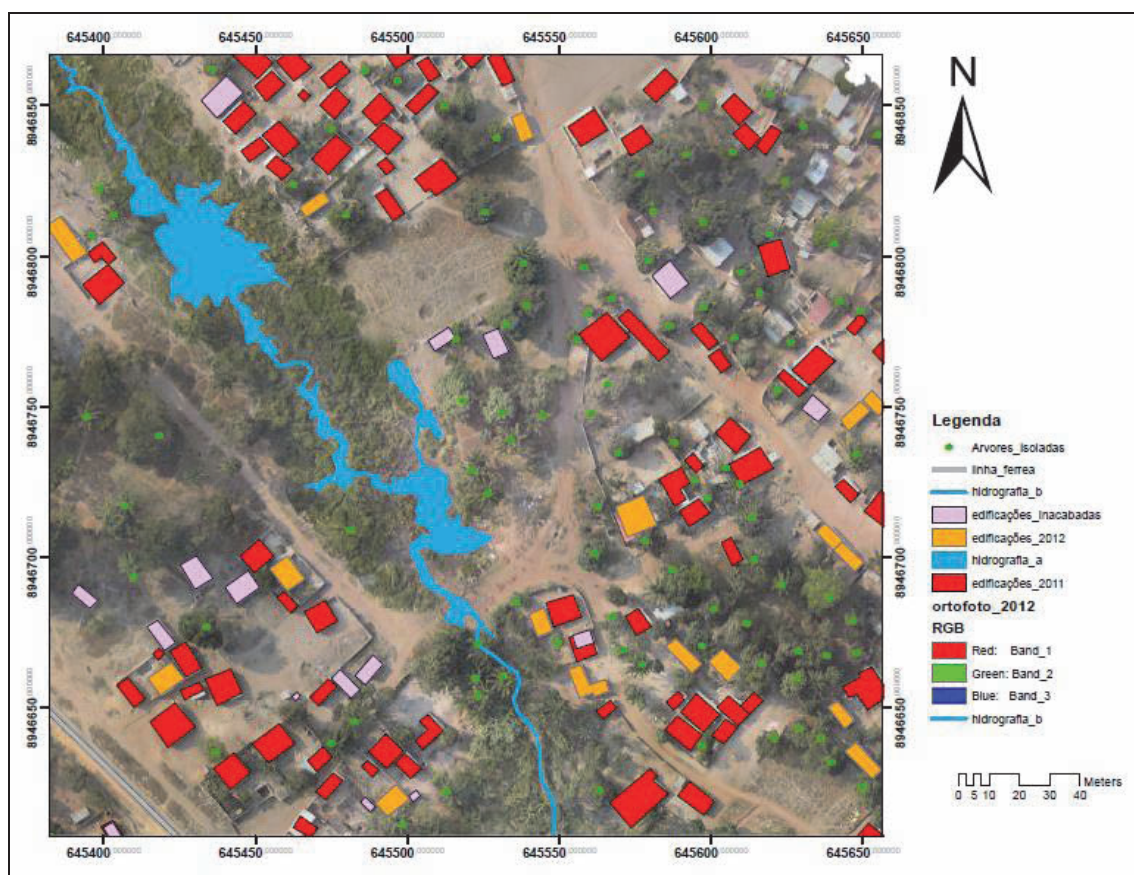


Figura 21 - Pormenor da extrao de informao pelo mtodo da vectorizao

Na extração automática (figura 22) o objetivo foi efetuar a classificação da área que corresponde a cobertura da vegetação, visto que com a vectorização a extração desta informação não realiza-se da melhor maneira. Para realizar esta tarefa houve necessidade de classificar outros elementos, tais como: edificação e hidrografia.

Os métodos tradicionais de classificação automática de informação geográfica, baseiam-se em classificadores digitais que analisam ao nível do pixel (Santos, Freire et al. 2010). Porém quando se trata de classificar imagens para grandes escalas ou com resoluções elevadas este método apresenta algumas inconsistências.

Segundo Blaschke e Strobl (2001) para melhor qualidade geométrica e temática da informação geográfica desenvolveram-se classificadores que atuam não nível do pixel mais a nível do objeto/elemento.

Neste trabalho a classificação temática do ortofoto foi realizada ao nível do elemento. O processo de classificação foi efetuado com Arcgis 10.0 usando o método de classificação maximum likelihood, numa abordagem supervisionada, pelo que a fase inicial consistiu em digitalizar pequenas áreas sobre a classe de interesse. A opção de definir pequenas áreas permite identificar objetos com um número mínimo de pixels.



Figura 22 - Pormenor da extração automática da cobertura da vegetação

Nesta fase de digitalização automática, o interesse foi apenas obter informação da classe correspondente a cobertura vegetal, visto que com a digitalização manual ao representar a cobertura da vegetação herbácea não fica bem representada.

4.4.2 Atualização da cartografia da área de estudo

O processo de atualização cartográfica de áreas urbanas em grandes escalas representa um dos principais componentes nas administrações municipais. Um mapa atualizado permite dar melhor resposta em situações de planeamento e gestão de infra-estruturas municipais.

A atualização cartográfica pode ser realizada com base nos métodos direto e indireto. Nos métodos diretos as informações são obtidas em campo por meio de técnicas de topografia e geodesia. Os equipamentos usados nestes métodos podem ser: teodolitos, níveis, estações totais, GPS de dupla frequência e outros. Este método oferece grande qualidade geométrica e é ideal para levantamento de pequenas áreas.

Os métodos indiretos incluem a aerofotogrametria, Detecção Remota com imagens de alta resolução e Fotogrametria usando VANT. Para este trabalho foi usado o método indireto que consistiu em utilizar duas ortofotos.

O procedimento geral para a atualização é fazer uma sobreposição de dados recentes sobre a base cartográfica desatualizada. Geralmente este processo é realizado no ecrã de um computador, usando um software específico para este efeito. Esta operação é chamada em alguns casos de registro mapa-mapa, registro ponto-mapa, ou warping.

Para este trabalho o processo de atualização realizou-se com base no fluxograma apresentado na figura 23.

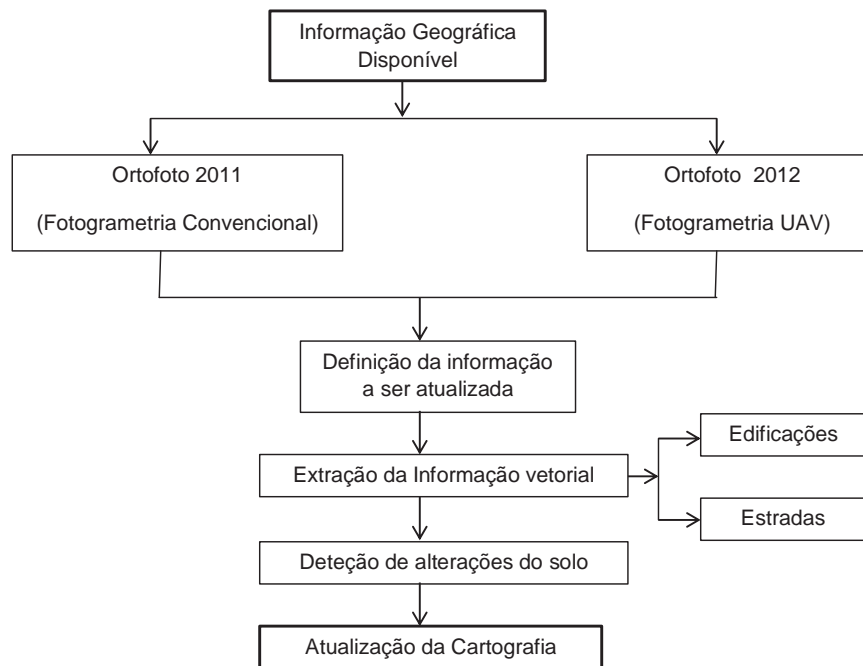


Figura 23 - Fluxograma das fases de atualização da cartografia

Nesta etapa do trabalho o objetivo foi efetuar atualização da área de estudo com base na informação disponível, ou seja, o ortofoto de 2011 obtido por levantamento aerofotogramétrico convencional e o ortofoto gerado por meio de fotografias aéreas obtidas com veículos aéreos não tripulados, de 2012. A atualização da cartografia desta área justifica-se devido a grande dinâmica de ocupação do solo que tem ocorrido nos últimos anos.

Pretendeu-se mostrar que as informações geradas por meio deste método de atualização terão importância para o planeamento e desenvolvimento do município, principalmente em áreas onde se verifiquem ocupações recentes.

Portanto, depois da vectorização do ortofoto de 2011, fez-se a sobreposição desta informação no ortofoto de 2012. Nesta fase o processo consistiu na deteção de forma visual de cada objeto geográfico. Este método permite não só identificar a presença de mudança, como qualificá-la e identificar as dinâmicas entre os objetos geográficos.

Com as duas informações geográficas sobrepostas, fez-se apenas a vectorização no ortofoto de 2012 dos elementos que não constavam no ortofoto de 2011. Para atualização da cartografia da área de estudo, definiu-se como planos de informação apenas as edificações e a cobertura da vegetação, por serem os elementos que mais sofreram variação ao longo deste período. Na cobertura da vegetação, deve-se apenas ter em conta as árvores isoladas, as que deixam de existir no ortofoto 2011.

Durante este processo foram identificados alguns elementos que apresentavam algum grau de confuso, (e.g., edifcios cobertos por rrvres e desfocados, copa das rrvres interligadas) assim sendo, no foram vetorizados porque no apresentavam geometria que permitisse uma aproximao aos outros elementos extraídos.

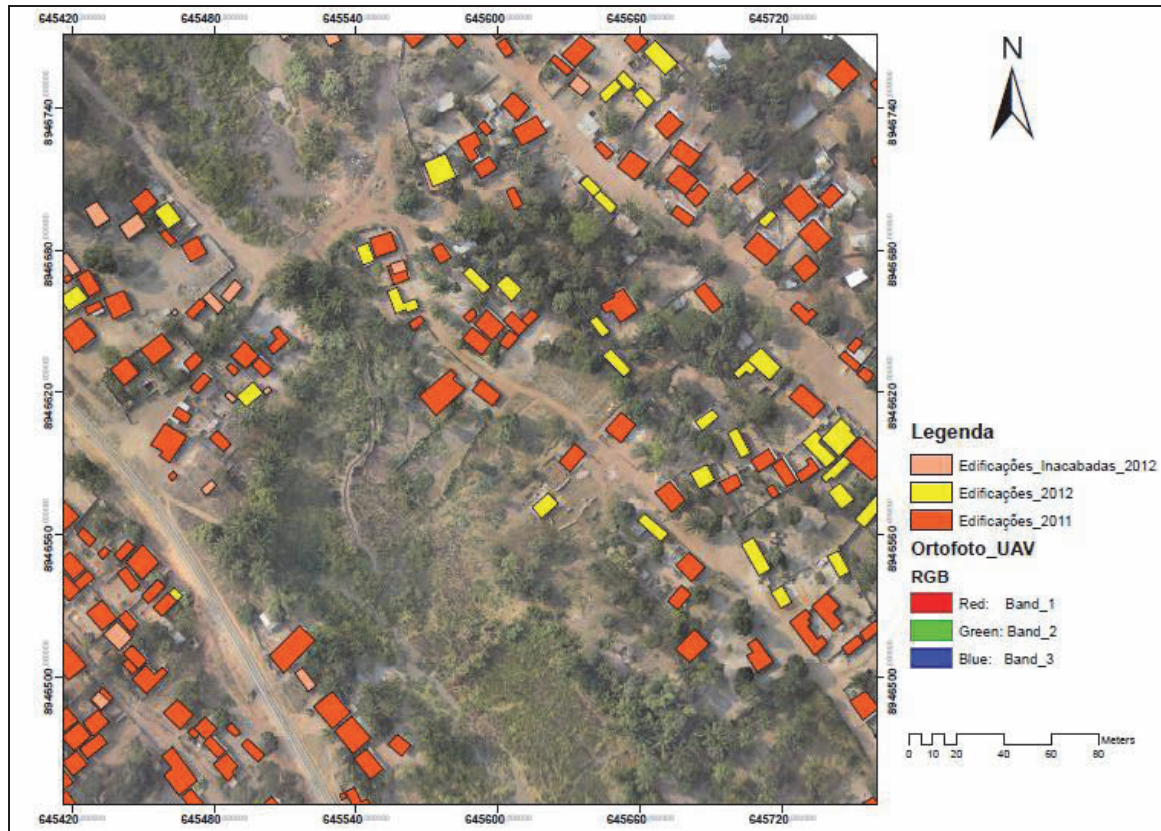


Figura 24 - Pormenor do mapa de atualizao da cartografia

4.4.3 Solues SIG para Administrao Municipal em Angola

As solues SIG para as administraes municipais em Angola apenas so verificadas em algumas provncias, apesar de esta tecnologia no ser nova. Departamentos ligados ao urbanismo e ordenamento do territrio fazem uso de ferramentas SIG, mas uma orientao especfica para gesto de municpios somente nos seguintes municpios: Chibia, Humpata, Lubango, Matala, Moxico e Viana. Estas solues funcionam como uma base de dados cartogrfica digital, que tm sido usadas na implementao de sistemas de gesto urbanstica e sistemas de gesto de cadastro.

O SIG municipal de Viana (Luanda), est neste momento em fase de execuo, estando a decorrer a recolha de informao de propriedades e uso dos lotes, nmero de polcia e nome das ruas.

Para o município da Matala, assim como nos outros SIG municipais de Angola, estas soluções foram implementado pela Sinfic.CA, que é a representante da ESRI. Esta estrutura de dados teve como objetivo recolher toda informação gráfica e alfanumérica e integrá-la numa base de dados para uma efectiva realização de análise espaciais. Esta base de dados SIG foi inserida numa personal geodatabase no Arcgis, e encontram-se armazenadas em tabelas constituídas de atributos.

No caso da província de Malanje não há registo da existência de SIG municipal para nenhum dos municípios, mas no entanto alguns departamentos que manuseiam dados de informação geográfica fazem uso de software SIG, especificamente o Arcgis para as suas tarefas, mas não há projectos SIG direccionados para gestão municipal. Existe informação geográfica georrefenciada, tal como: ortofotos e cartas topográficas, que permite elaborar um projecto SIG municipal.

4.4.4 Base de Dados Cartográfica Utilizada

Os dados vectoriais provenientes da vectorização e classificação dos ortofotos, foram integradas na base de dados geográfica no Arcgis usando a geodatabase. O geodatabase neste caso funciona como um depósito para armazenar dados especiais e de atributos e o relação que existe entre eles.

Para este trabalho os dados foram armazenados numa Multiuser Geodatabase por se tratar de um SIG que englobará grande quantidade de informação. Além disso, as informações nela contida podem ser lidas e editadas por vários utilizadores ao mesmo tempo, e podem armazenar tanto dados raster como vectoriais. Com os dados inseridos numa Multiuser Geodatabase, a partir do arcCatalog podem directamente ser ligados a um SGBD Oracle ou SQL Server.

Neste trabalho como os dados disponíveis foram introduzidos para a base de dados as seguintes informações vectoriais: edificações novas e antigas, estradas do tipo A e B, linhas de caminho-de-ferro, árvores isoladas e hidrografia (figura 25). Cada camada possui a sua respetiva tabela de atributo com a informação correspondente.

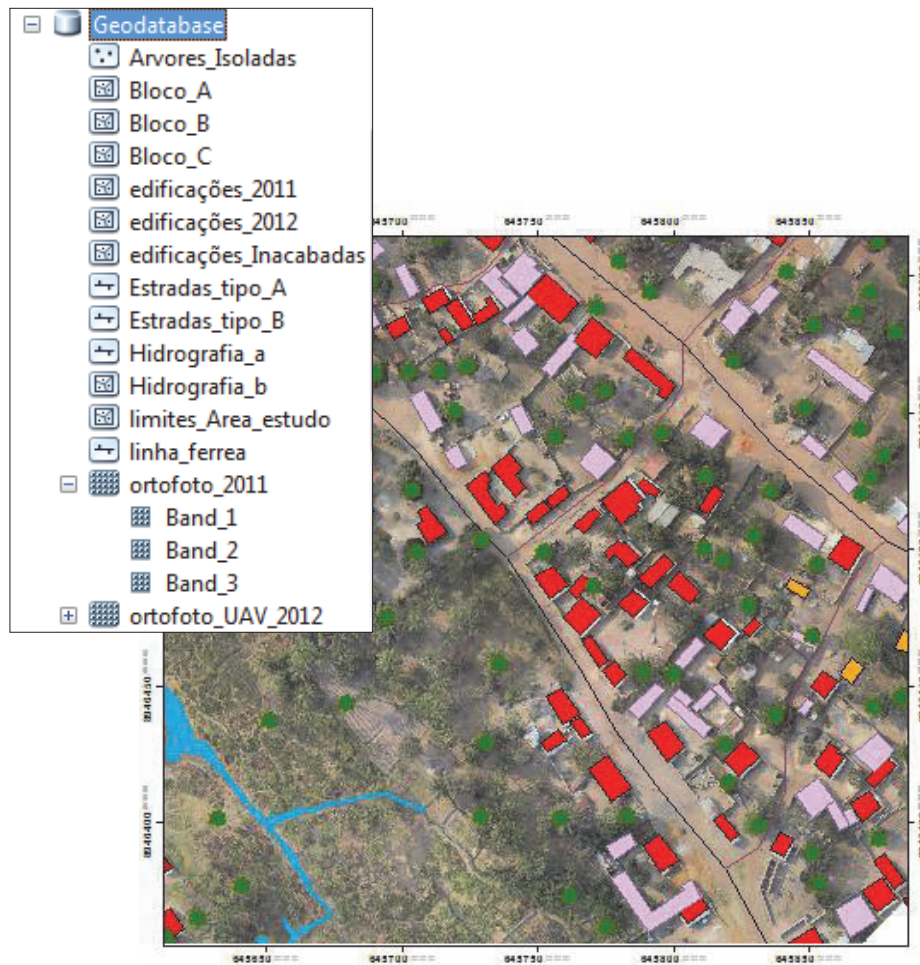


Figura 25 - Informação contida na base de dados

Estas informações correspondem à área de sobreposição entre o ortofoto de 2011 e 2012 assim como a informação vectorial do ortofoto que cobre a parte sul da cidade.

Estas informações armazenadas correspondem apenas a área de sobreposição entre o ortofoto de 2011 e ortofoto de 2012 obtido por levantamento VANT. O facto da cidade estar a crescer de forma rápida, isto implicará um aumento significativo da produção cartográfica, havendo necessidade da base de dados geográfica não resumir-se simplesmente num software SIG(geodatabase). Portanto, a conexão a uma base de dados externa com maior capacidade de armazenamento de informação seria uma solução ideal.

Capítulo 5

5.1 Introduo

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos na aplicao da metodologia descrita no quarto capítulo do trabalho, onde são expostos os resultados provenientes do processamento das imagens VANT, assim como avaliao da qualidade posicional por meio de pontos de verificao. Por outro lado, são apresentados resultados referentes ao processo de atualizao da cartografia da área de sobreposio entre os ortofotos das diferentes épocas.

5.2 Análise dos Resultados

Depois do processamento das imagens obteve-se dois produtos: Ortofoto e o DEM. Como já foi referido na fase do processamento, para este trabalho foram processadas imagens da área de estudo Malanje e ainda de Coimbra para validar a metodologia de trabalho. Assim sendo para a primeira abordagem da metodologia do processamento (sem pontos de controlo) foram processadas 180 imagens, cobrindo área completa do levantamento efetuado pelo VANT. Foi gerado um mosaico do ortofoto e o DEM da área correspondente (figura 26).

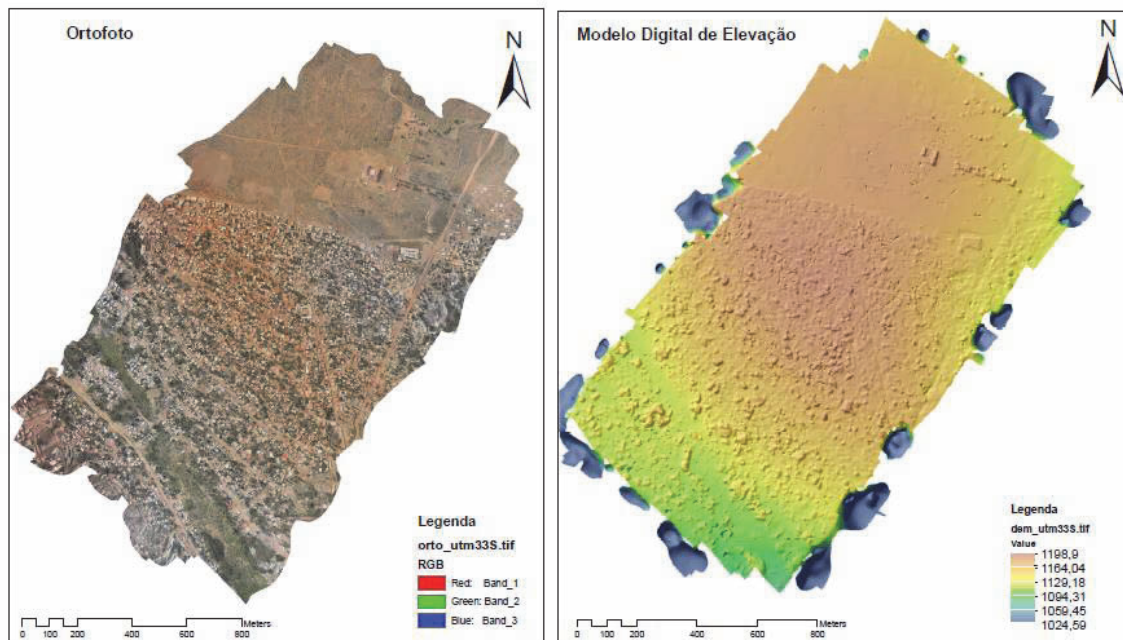


Figura 26 - DEM e Ortofoto obtidos sem pontos de controlo (Malanje)

Por outro lado, durante o processo de matching realizado pelo Agisoft PhotoScan foram gerados 105957 pontos de ligao (tie points) localizados nas fotografias e a

resoluo espacial obtida foi de 0,079 m/pix que corresponde uma rea de 2.03732km². os erros inerentes a posio da camara so apresentados na tabela 10.

Tabela 10 - Erro mdio quadrático da posio da camara

X(m)	Y(m)	Z(m)	Total(m)
2,905	1,608	7,412	7,221

Em relao a segunda abordagem do mtodo de processamento das imagens (com pontos de controlo extraídos do ortofoto de 2011) tambm obteve-se como produto para Malanje um ortofoto e o DEM (figura 27). Para este caso os produtos foram obtidos na rea corresponde a sobreposio entre o ortofoto de 2011 e o levantamento aereo realizado pelo VANT.

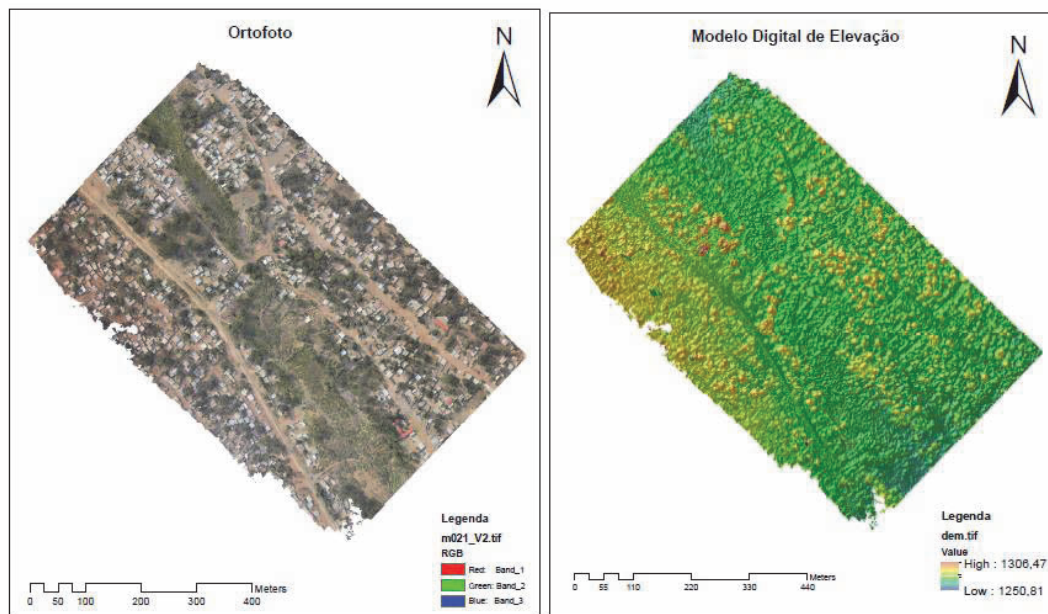


Figura 27 - DEM e Ortofoto obtidos com pontos de controlo extraídos do ortofoto de 2011 (Malanje)

A rea de sobreposio corresponde a duas fiadas da linha de voo com 33 fotografias e com uma cobertura de rea de 0,385km². Com uma altitude e mdia de 265,675 m obteve-se uma resoluo de 0,081 m/pix. Foram gerados 72367 pontos de ligaes com uma densidade de pontos 30,601 m². A partir pontos de controlo usados para gerar o modelo tridimensional determinou-se os resduos dos mesmos bem como RMS para cada uma das coordenadas como apresentado na tabela abaixo.

Tabela 11 - Resduos dos pontos de controlo extraidos do ortofoto de 2011

GCP	Proj_fotos	rX(m)	rY(m)	rZ(m)
ponto 1	2	-0,966292	0,891237	0,500142
ponto 2	7	-0,372964	0,395892	-0,216362
ponto 3	4	0,337290	0,128978	0,310730
ponto 4	6	-0,045971	-0,041427	-0,468237
ponto 5	4	0,494572	0,013609	0,810712
ponto 6	12	0,136336	-0,126260	0,296086
ponto 7	6	-0,018746	0,156664	1,088015
ponto 8	4	0,368564	0,029184	0,523147
ponto 9	6	0,098758	0,030066	1,322900
ponto 10	2	0,466017	-0,164895	-2,653430
Mdia		0,118	0,030	0,405
Desv_Pad.		0,423	0,294	1,067
RMS		0,157	0,415	0,479

Usando o mesmo mtodo de processamento foram extraidos pontos de controlo do GoogleEarth para a mesma rea de sobreposio, como resultado obteve-se os mesmos produtos do caso anterior, um ortofoto e o modelo digital de elevao. Foram usados 33 imagens de VANT para obteno destes produtos.

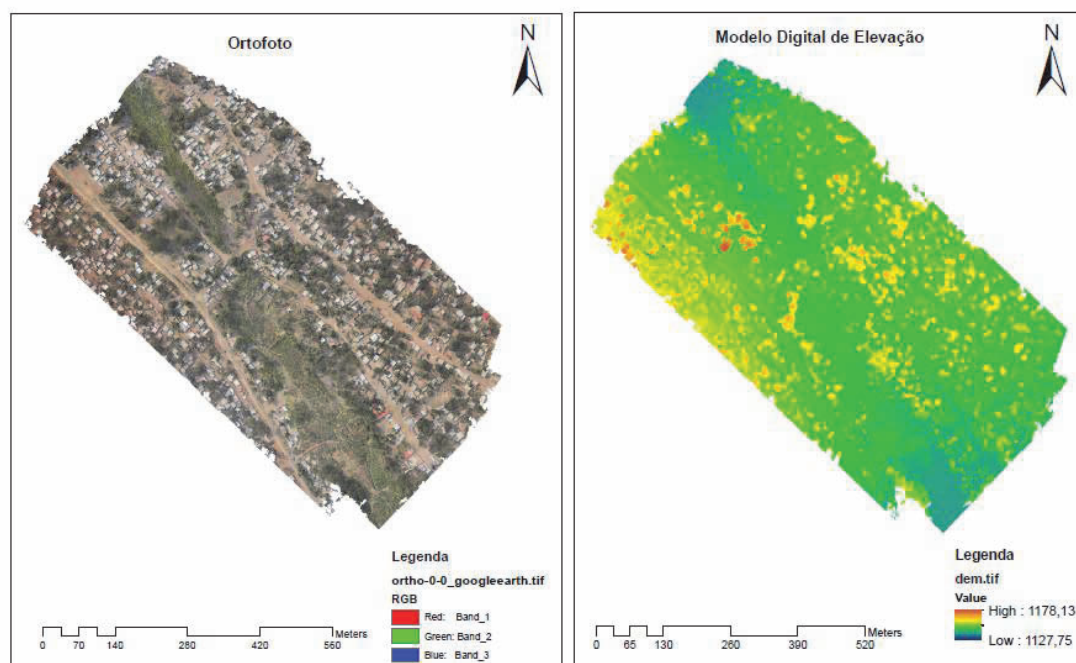


Figura 28 - DEM e Ortofoto obtidos com pontos de controlo extraidos do GoogleEarth

Para este caso usou-se os mesmos pontos de referncias usados no ortofoto de 2011 na extrao das coordenadas no GoogleEarth. Os resduos deste ponto seguem na tabela13.

Tabela 12 - Resduos dos pontos de controlo extraídos do GoogleEarth

GCP	Proj_fotos	rX(m)	rY(m)	rZ(m)
ponto 1	2	-1,352106	0,715833	-5,979222
ponto 2	8	0,111131	0,304013	-0,042099
ponto 3	4	-0,344148	-0,824182	-1,154885
ponto 4	6	-1,170086	-0,034879	-0,941681
ponto 5	4	-0,749557	0,108720	0,914743
ponto 6	12	0,910054	0,009584	0,429403
ponto 7	6	-0,129175	0,382012	1,042567
ponto 8	4	-0,465114	-1,110180	0,070612
ponto 9	6	0,596420	0,743907	1,056798
ponto 10	2	0,097820	-1,213147	-2,531463
Mdia		-0,237	0,059	0,014
Desv_Pad.		0,685	0,679	2,062
RMS		0,864	0,272	2,252

Os resultados seguintes esto relacionados aos processamentos das imagens VANT de Coimbra. Como j foi referenciado na seo 4.3.4 o processamento destas imagens consistiu em validar a ica da rea degia de trabalho, visto que para esta rea existem pontos de controlo obtidos por meio de levantamento com GPS de alta preciso.

Para obteno do ortofoto e o modelo digital de elevao foram processadas 37 imagens, com altitude mdia de 125m o que corresponde uma rea de 0.118363km², com 30029 pontos envolvidos no processo de triangulao (figura 29).

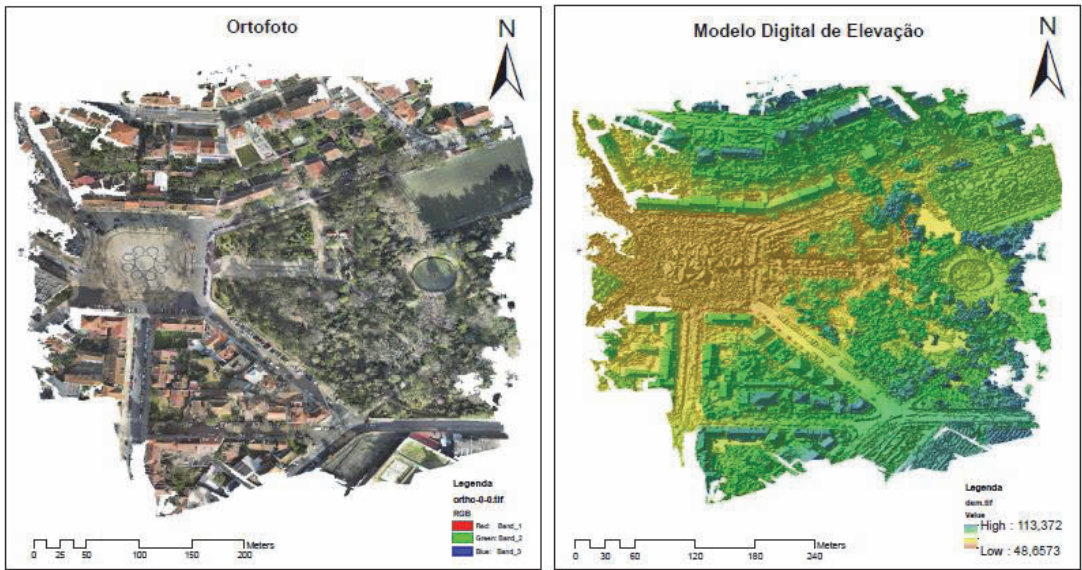


Figura 29 - DEM e Ortofoto obtidos com pontos de controlo com GPS(Coimbra)

Na tabela 13 s3o representados os resduos para os pontos de controlo obtidos durante o processo de fototriangulao. Para este caso foram usados apenas quatro pontos no processo da correo da imagem (tabela 14).

Tabela 13 - Resduos dos pontos obtidos com GPS

GCP	Proj_fotos	rX(m)	rY(m)	rZ(m)
PF_GCP07	6	0,09524	-0,15182	-0,05899
PF_GCP08A	7	0,01565	0,07169	0,16225
PF_GCP09A	8	-0,05051	0,00470	0,01489
PF_GCP14A	5	0,05880	0,01720	-0,37425
Mdia		0,037	0,011	-0,022
Desv_Pad.		0,054	0,083	0,196
RMS		0,060	0,029	0,128

Em relao ao processo de extrao de informao a partir do ortofoto da rea de estudo, obteve-se uma cartografia temtica atualizada, que foi inserida numa Geodatabase SIG.

5.3 Avaliação posicional

Neste trabalho a avaliação posicional consistiu em avaliar a qualidade da georreferenciação das imagens obtidas por VANT. Para tal, efetuou-se a avaliação planimétrica e altimétrica.

Para o controle de qualidade planimétrico do ortofoto, foi realizada análise de tendências de deslocamento das coordenadas utilizando as discrepâncias entre as coordenadas (X,Y) provenientes do ortofoto de 2011 as coordenadas medidas na base cartográfica obtida por imagens de VANT.

Para a área de estudo, foram definidos pontos de verificação distribuídos ao longo da área de sobreposição (Anexo F). Estes pontos foram identificados no ortofoto de 2011 assim como no ortofoto obtido pelo processamento de imagens de VANT. Usando as equações (3.1) e (3.2) calculou-se as discrepâncias entre os pontos homólogos planimétricos e altimétricos nas referidas coordenadas, obtendo desta forma o deslocamento em cada um dos pontos.

Para a área de estudo foram considerados dez pontos de verificação para avaliação da qualidade posicional. Foram calculadas as média e o erro médio quadrático do valor das discrepâncias tanto para as coordenadas X, assim como para as coordenadas em Y (Anexo D).

Esta análise foi realizada com o ortofoto obtido com pontos de controlo extraídos do ortofoto de 2011 e o ortofoto com as coordenadas extraídas do GoogleEarth. Para os dois casos foram usados os mesmos pontos de referências. O erro médio quadrático para cada um dos pontos é apresentado no gráfico abaixo.

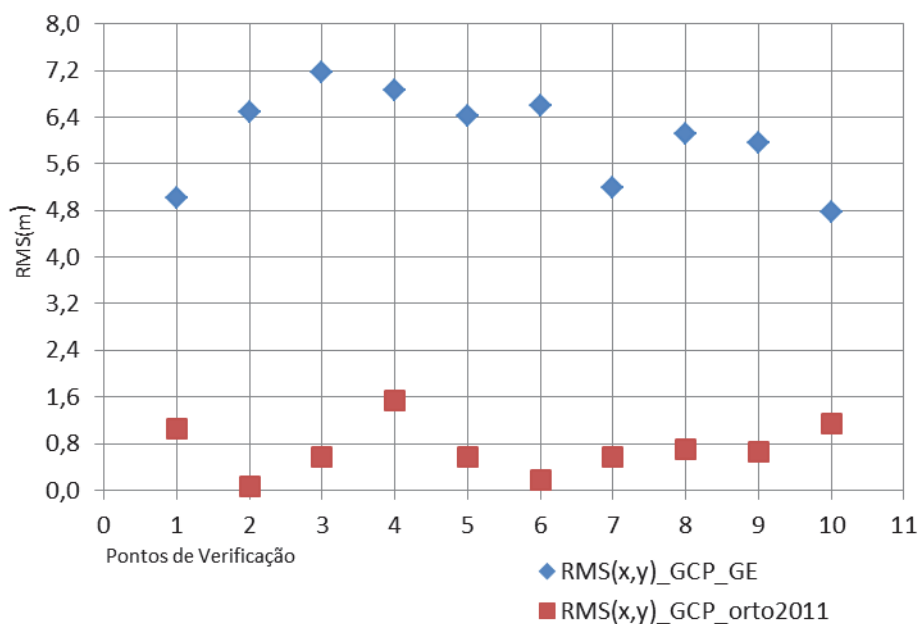


Figura 30 - Comparao do RMS das coordenadas planimétricas dos pontos de verificao

Avaliao da altimetria da altimetria para o caso da rea de estudo foi efetuada sobre a TIN obtida pelos pontos cotados levantados em 2011 e o modelo digital de elevao (DEM) do ortofoto gerado pelas imagens VANTs. Para este caso extraiu-se as altitudes dos pontos definidos para a georreferenciao indireta. No foram usados os mesmos pontos usados na planimetria porque a TIN no englobava toda rea de sobreposio entre os ortofotos.

A extrao dos valores altimétricos a partir da TIN do DEM foi realizada com a funo Extract Values to Points do Arcgis 10.0, com estes valores calculou-se as discrepncias entre as coordenadas. Verificou-se que para cada um dos pontos encontra-se abaixo de 2,5m. Avaliao da altimetria apenas foi realizada com o DEM em que foram usados pontos de controlo extraídos do ortofoto de 2011. A mesma anlise no foi efetuada com DEM obtido com pontos de controlo extraídos do googleearth, devido a grande discrepncia com TIN gerada pelos pontos cotados. Sobrepondo os pontos de verificao definidos a TIN, constata-se que a maior parte dos pontos encontram-se fora do limite da TIN.

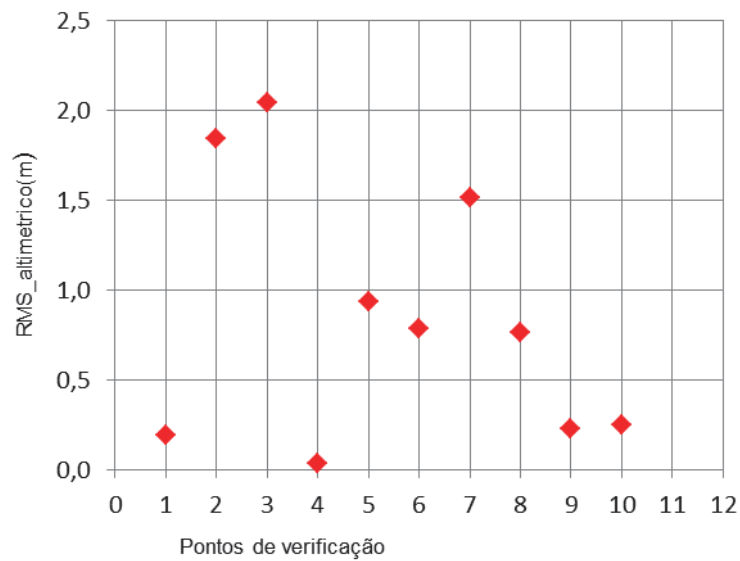


Figura 31 - Comparao do RMS altimtrico dos pontos de verificao

Para os dados de Coimbra avaliao foi efetuada com base nas altitudes obtidas com levantamento GPS e o modelo digital de elevao gerado pelo processamento das imagens VANT.

Na anlise planimetria foram estabelecidos pontos de verificao, os restantes pontos obtidos com GPS que no foram usados no processo da georreferenciao. Para tal, extraíram-se as coordenadas planimtricas do ortofoto gerado, enquanto para altimetria obteve-se as altitudes a partir do DEM e das altitudes elipsoidais obtidas por levantamento com GPS.

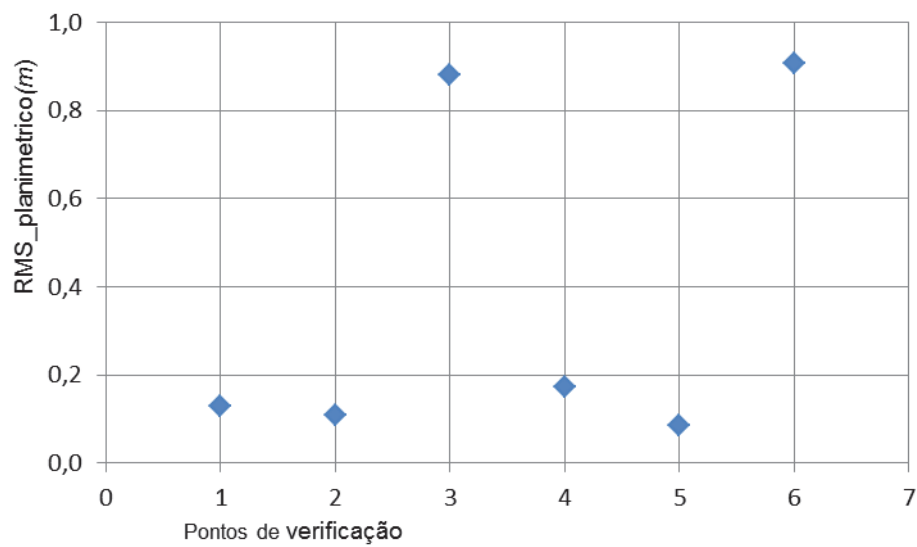


Figura 32 - RMS planimtrico dos pontos de verificao

Quanto a avaliao da altimtrica, a anlise consistiu na comparao direta dos pontos entre os valores os valores de elevao obtidos com GPS e os extraídos do modelo digital elevao gerado com imagens de VANT. Entretanto, com estes valores calcularam-se os erros mdios quadráticos para cada um dos pontos observados (Anexo G). Para anlise da qualidade altimtrica foram estabelecidos seis pontos distribuídos ao longo da rea escolhida.

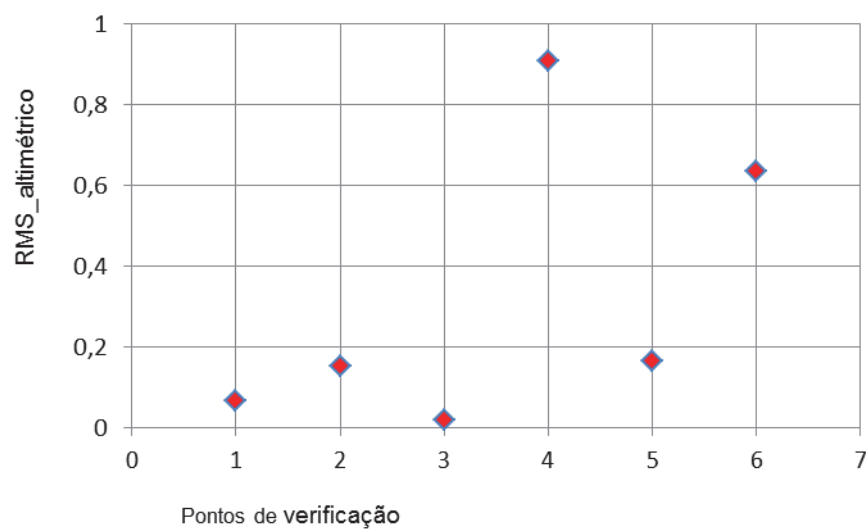


Figura 33 - RMS altimtrico dos pontos de verificao

Os gráficos apresentados para os três casos mostram a distribuição espacial das discrepâncias planimétricas e altimétricas. No caso em que foram considerados pontos de verificação extraídos do ortofoto de 2011, verificou-se que os pontos testados apresentam exatidão planimétrica dentro de 7 pixels (0,61m). Os resultados mostram que considerando a resolução espacial do pixel no terreno (0,08m), constata-se que as discrepâncias médias estão fora do limite de precisão. Em relação aos pontos de verificação traídos do GoogleEarth, a exatidão planimétrica encontra-se dentro de 78 pixels(6,6m).

Para o caso em que os pontos de verificação são provenientes de levantamento com GPS, e considerando que a resolução espacial do pixel no terreno é de 0,034m, os pontos testados apresentam exatidão planimétrica dentro de 4 pixels (0,15m).

A análise posicional global foi realizada calculando o EMQ planimétrico e altimétrico, e verificar se estes valores estão dentro dos parâmetros estabelecidos. O facto de não existirem normas técnicas específica para produção de informação cartográfica com imagens aéreas de veículos aéreos não tripulados, os resultados obtidos foram analisado tendo em conta as especificações técnicas para exatidão e precisão posicionais para a cartografia nas escalas 1:1000,1:2000,1:5000 e 1:10000 do IGP (Anexo L).

Tabela 14 - Resultados planimétrico

	Coord._ortofoto 2011	Coord._GoogleEarth	Coord._gps
Média	0,617	6,268	0,151
Desv. Pad	0,420	0,776	0,364
Mín.	0,062	4,764	0,086
Máx.	1,544	7,162	0,908
RMS	0,414	19,105	0,076

Como pode-se observar na tabela 14 o RMS planimétrico calculado para o ortofoto obtido com pontos de controlo extraídos do ortofoto de 2011 é de aproximadamente 0,41m, enquanto que para ortofoto obtido com pontos extraídos do GoogleEarth é de 19m. Portanto, o primeiro caso pode-se considerar um valor aceitável, se tivermos em conta que esta informação não será usada para casos em que se exige rigor planimétrico muito elevado, por exemplo para fins cadastrais, obviamente que a precisão deve ser melhor.

Para caso de Coimbra se o RMS for comparado aos valores esperados para cartografia 1:2000, verifica-se que o valor obtido 0,076m encontra-se muito abaixo do valor exigido que é 0,30m em planimetria, apesar de a amostra não ser uma área muito extensa.

Tabela 15 - Resultados altimétricos

	Coord._ortofoto 2011	Coord._gps_Coimbra
Média	0,210	0,087
Desv. Pad	1,081	0,388
Mín.	-1,517	-0,363
Máx.	2,044	0,908
RMS	0,662	0,333

Quanto a exatidão altimétrica para o caso dos dados de Coimbra encontrou-se um valor de 0,33m que está abaixo do exigido que é o RMS de 0,45m. Para os dados de Malanje, como já foi referido na análise da planimetria, por se desconhecer as especificações técnicas para esta região não foi realizada a comparação que seria necessária. No entanto, 0,66m como valor de RMS altimétrico pode-se considerar um valor aceitável tendo em conta a finalidade dos ortofotos obtidos.

5.4 Avaliação da análise de tendências

Para análise de tendências do ortofoto foi utilizado o teste de hipótese T-Student, observando para este caso um nível de confiança $(1-\alpha)$ igual a 90% ($\alpha=0,10$) e com grau de liberdade $(n-1)$. Este teste consiste em inicialmente em calcular o valor médio o desvio padrão das discrepâncias entre as coordenadas. Este último foi calculado com base na equação (3.6), e finalmente calculou-se o valor de t, a partir da equação (3.7), os resultados obtidos para os ortofotos análises podem ser observados na tabela seguinte em que:

A: ortofoto obtido com pontos de controlo extraídos do ortofoto do ortofoto de 2011.

B: ortofoto obtido com pontos de controlo extraídos do GoogleEarth.

C: ortofoto obtido com pontos de controlo GPS.

Tabela 16 - Resultados da anlise de tendncias

	Dados_Malanje				Dados_Coimbra	
	A		B		C	
	DX _(m)	DY _(m)	DX _(m)	DY _(m)	DX _(m)	DY _(m)
Mdia	-0,020	-0,024	-6,2660	0,2135	-0,020	-0,024
Desvio Padro	0,165	0,499	0,7609	0,4050	0,165	0,499
t _(x,y) amostral	-0,294	-0,116	-26,0418	1,6672	-0,294	-0,116
t_student	1,812	1,812	1,812	1,812	2,015	2,015
Grau de libertade	9		9		5	
Nvel de confiana	0,9		0,9		0,9	

Analisando a tabela acima, verifica-se que, ao comparar os valores absolutos de t_x e t_y amostrais com o valor tabelado do caso A, esto dentro do intervalo de confiana (equao 3.8). Portanto, pode-se considerar que ortofoto est livre de tendncias, ou seja, estar livre de erros sistemticos acentuados nas suas coordenadas, pois t_x e t_y < t_{((n-1)),1-α/2}. A mesma anlise extensiva para o caso C.

Para caso B, em que so usados pontos de controlo extraídos do GoogleEarth, verificou-se o valor t amostral para as diferenas das coordenas X est fora do intervalo de aceitao da hiptese nulo. Observa-se que: t_x=26.0418, sendo maior que o valor tabela para o nvel de confiana estabelecido.

Como o valor calculado para t Student a partir das amostras est maior que o valor terico, ento pode-se concluir que esta imagem tem um deslocamento de 6,266m para Este conforme se pode observar na figura 34, e no est livre de erros sistemticos nesta direo.

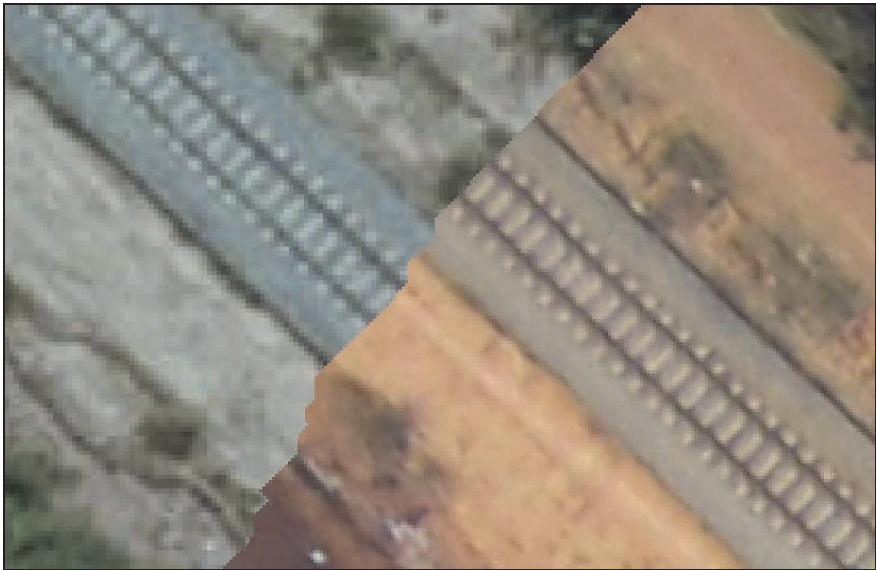


Figura 34 - Sobreposio do ortofoto de 2011 e o ortofoto obtido com pontos de controlo extraídos do GoogleEarth

Capítulo 6

6.1 Conclusões

No presente trabalho, foram analisadas as potencialidades das imagens obtidas por veículos aéreos não tripulados, tendo como objetivo a sua utilização em projetos de SIG para as administrações municipais. Assim sendo, em trabalhos cartográficos que envolvem pequenas áreas ou com ausências de cartografia de base os VANTs apresentam-se como uma solução ideal para dar respostas as necessidades inerentes a produção de cartografia atualizada.

A metodologia implementada com a utilização de imagens obtidas por VANTs, permitiu obter ortofotos e o DEM. Os resultados foram obtidos em duas abordagens para o processamento das imagens; sem pontos de controlo e com pontos de controlo (extraídos do ortofoto de 2011 e do GoogleEarth).

Para avaliao planimétrica, verificou-se que o valor de RMS do produto obtido com pontos de controlo do ortofoto de 2011 é menor do que o ortofoto obtido com pontos extraídos do GoogleEarth. As precises planimétricos e altimétricos dos produtos cartográficos usando pontos de controlo obtidos por meio de levantamento GPS apresentam melhores resultados em relao ao ortofoto obtido com pontos do extraído do ortofoto de 2011 (tabela 17).

Tabela 17 - Resultados do processamento das imagens

	Numero_Imagens	Resoluao_Espacial	Altitude(m)	Area(km2)	Numeros_GCP	RMS_Plan.(m)	RMS_Alti.(m)
GCP extraídos do Ortofoto de 2011(Malanje)	33	8,03 cm/pixel	265,97	0,43	10	0,414	2,093
GCP extraídos do GoogleEarth (Malanje)	33	8,02 cm/pixel	265,20	0,43	10	19,105	
GCP de levantamento GPS(Coimbra)	41	7,08 cm/pixel	123,60	0,09	4	0,076	0,742
Sem pontos de controlo(Malanje)	180	3,4 cm/pixel	247,90	2,04	sem GCP		

Além disso, a preciso do ortofoto pode não ser alcançada em todo ortomosaico, algumas áreas podem não estar bem texturizadas ou podem conter grande descontinuidade em profundidade, principalmente próximos dos limites dos edifícios.

Em relao a avaliao da qualidade cartográfica do produto obtido, na análise de tendncia, constatou-se que a ortofoto obtido com pontos de controlo extraídos do GoogleEarth não está livre de de tendncia, isto é, existe deslocamento médio na direao X de aproximadamente 6.266m, visto que o t amostral está fora do intervalo de confiana. sendo que para os caso em o ortofoto foi obtidos com pontos de controlo extraídos do ortofoto de 2011 e de pontos lentados com GPS as imagens estão livres

de tendências, ou seja, está livre de erros sistemáticos acentuados nas suas coordenadas.

A informação extraída do ortofoto foi integrada em uma base de dados geográfica, permitindo desta forma a atualização da mesma sempre que houver necessidade. Por outro lado as análises multitemporais realizadas neste trabalho por meio de fotografia aéreas convencionais e obtidas por veículo aéreos não tripulados permitem avaliar de forma visual o nível de expansão urbana na área de estudo.

Portanto, este tipo de informação constitui um importante recurso no planeamento e gestão de atividades nos municípios.

6.2 Recomendações

As precisões apresentadas neste trabalho podem ser melhoradas seguindo o processo fotogramétrico tradicional, que inclui a intervenção manual para definir pontos de controlo mais estáveis.

Para um trabalho posterior a criação da base de dados geográfica SIG proposta para este trabalho deverá ser melhorada, visto que as tabelas de atributos limitaram-se simplesmente para análise visual dos ortofotos. Portanto um trabalho de completude deve ser realizado para minimizar os erros de omissão e erros de comissão.

Para melhorar a precisão planimétrica e altimétrica dos resultados da área de estudo, é recomendável realizar um trabalho de campo com GPS de alta precisão, e os pontos de controlo devem ser implantados de forma que facilmente sejam identificados durante o processamento das imagens.

O fato de existir uma grande dinâmica em termos de crescimentos urbano da cidade de Malanje, a criação de SIG Municipal é recomendável, para que seja possível gerir as infraestruturas e planificar da melhor forma as áreas que devem construídas, assim como outras áreas de ocupação do solo.

6.4 Referncias Bibliogrficas

Aguilera, D., G. and J. Lahoz, G. (2010). Produccin de productos cartogrficos: MDT y ortofoto a partir de imgenes Capturadas por un vehculo VANT. Escuela Politecnica superior de Avila., Universidade de Salamanca. Master.

ASPRS (1990). "Accuracy Standards For Large Scale Maps." Photogrammetric Engineering & Remote Sensing.

Berberan, A. (2003). Elementos de Fotogrametria-Aplicada à aquisio de informao geografica-Operaes Elementares: p.94.

Blaschke, T. and J. Strobl (2001). "What's wrong with pixels.Some recent developments interfacing remote sensing and GIS." GeoBIT/GIS.

Blyenburgh, P., V. (1999). "VANTs: an Overview " Air and Space Europe Vol.I no 5/6.

Brutto, M. L., et al. (2012). VANT Systems For Photogrammetric Data Acquisition Of Archaeological Sites. EUROMED. Palermo, Italy.

Burity, E., F. , et al. (1999). Qualidade De Dados Para O Mapeamento. Congresso Brasileiro de Cartografia. Recife-Brasil.

CAA. (2009). Impact Assessment of a proposal to amend the Air Navigation Order to address the regulation of Unmanned Aircraft Systems.

Calisto, L., F,P, B. (2013). Obteno e utilizao de imagens de alta resoluo (espacial, espectral e temporal) na Gesto Florestal, obtidas por Sistemas Aereos No Tripulados. Anais XVI Simpso Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR. Foz do Iguaçu,PR,Brasi.

Caprioli, M. and E. Tarantino (2003). Standars and Quality in GIS Contexts. FIG Working Week. Paris, France.

Chang-chun, L., et al. (2011). "Quick image-processing method of VANT without control points data in earthquake disaster area." Cience Press.

Corrêa, M., A. and J. Júnior, B,C. (2008). Estudos De Veículos Aereos No Tripulados Baseado Em Sistemas Multi-Agentes E Sua Interao No Espao Aereo Controlado. Simposio de transporte Aereo Rio de Janeiro.

Cosme, A. (2012). Projeto Em Sistemas de Informao Geogrfica. Lisboa., LIDEL-Edies Técnicas -Lda.

Eisenbeiss, H. (2009). The Potential of Unmanned Aerial Vehicles for Mapping.

Eisenbeiss, H. (2009). VANT Photogrammetry. Zurich, University of Technology Dresden. Doctor of Sciences: 237.

Everaerts, J. (2008). The Use Of Unmanned Aerial Vehicles (VANTs) For Remote Sensing And Mapping. Remote Sensing and Spatial Information Sciences . Beijing. Vol. XXXVII.

- Fahlstron, P., G. and T. Gleason, J. (2012). Introduction to VANT Systems. United Kingdom., John Wiley & sons Ltd.
- Filho, J., L. and C. Iochpe (1996). Introdução a Sistemas de Informações Geográficas com Ênfase em Banco de Dados. XVI Congresso da SBC. Recife.
- Freitas, E. (2010). A invasão dos VANTs. MundoGEO
- Gomes, E. S. and L. Vestena, R. (2013). O uso de geotecnologias para a análise espaço-temporal da expansão urbana de GuarapVANTa-PR entre 1995 e 2011. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR. Foz do Iguaçu, PR, Brasil.
- Gonçalves, J., A. and R. Henriques (2013). Topographical monitoring of coastal areas with VANT imagery. 6th EARSeL Workshop on Remote Sensing of the Coastal Zone. atera, Italy.
- Grenzdörffer, G., J. , et al. (2008). "The Photogrammetric Potential Of Low-Cost VANTs In Forestry And Agriculture." The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences Vol. XXXVII. Part B1.
- Hegde, N., P. and G. Hegde, L. (2007). "Quality Control in Large Spatial Database Maintance." International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Commission II WG II/7.
- INAVIC. (2003). Normativo Técnico 2/Registo de Aeronaves. Instituto Nacional da Aviação Civil. <http://www.inavic.gov.ao/opencms/inavicsite/legislacao/Normativos>.
- INE (2004). PROJEÇÃO DA POPULAÇÃO DO PAÍS POR PROVÍNCIAS E GRUPOS QUINQUENAIS DE IDADE PARA O PERÍODO 1985 I 2010. BOLETIM DEMOGRÁFICO Nº 9.
- JAA. and EUROCONTROL. (2004). A Concept For European Regulations For Civil Unmanned Aerial Vehicles (VANTs).
- Junior, J., M. , et al. (2009). Atualização e geração de produtos cartográficos a partir de imagens obtidas com câmaras analógica e digital. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE. Natal, Brasil. p. 1803-1810.
- Junior, W., M.S. and G. Ribeiro, P. (2012). Qualidade dos Dados Geográficos Disponibilizados em Ambiente de Sistema de Informação Geográfica na Internet. IV Simposio Brasileiro de Ciencias Geodésicas e Tecnolofias de Informação. . Recife-Brasil.
- Koska, B. and T. Křemen (2013). The Combination Of Laser Scanning And Structure From Motion Technology For Creation Of Accurate Exterior And Interior Orthophotos Of St. Nicholas Baroque Church. 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures., International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Volume XL-5/W1.
- Lin, J., et al. (2010). Practical Application of Unmanned aerial Vehicles for Mountain Hazards Survey. 18th International Conference of Geoinformatics., IEEE

Longhitano, G., A. (2010). Vants Para Sensoriamento Remoto: Aplicabilidade Na Avaliação E Monitoramento De Impactos Ambientais Causados Por Acidentes Com Cargas Perigosas, Politécnica da Universidade de São Paulo. Tese de Mestrado.

Longley, P., A., et al. (2007). Geographical Information Systems and Science. England-pág.218.

Madani, M. (2001). Importance of Digital Photogrammetry for a complete GIS. 5th Global Spatial Data Infrastructure Conference. Cartagena, Columbia.

Manyoky, M., et al. (2011). Unmanned Aerial Vehicle In Cadastral Applications. Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics, Zurich, Switzerland. Switzerland.

Moraes.E, C. (2002). Fundamentos De Sensoriamento Remoto. I. N. d. P. Espaciais. INPE-8984-PUD/62.

Ruy, R., S. (2008). Desenvolvimento E Validação Geométrica De Um Sistema Para Mapeamento Com Câmaras Digitais De Médio Formato., Universidade Estadual Paulista-Faculdade de Ciências e Tecnologia. Pós-Graduação.

Santos, T., et al. (2010). Detecção de alterações em meio urbano baseada na comparação de elementos extraídos a partir de imagens de alta resolução espacial. Aplicação à área da Alta de Lisboa. XII Cólóquio Iberico de Geografia. Porto, Portugal.

Silva, E., T,B. (2013). Veículos aéreos não tripulados: panorama atual e perspectivas para o monitoramento de atividades ilícitas na Amazônia. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Foz do Iguaçu, Brasil.

Tahar, K., N. (2012). "A New Approach On Slope Data Acquisition Using Unmanned Aerial Vehicle." International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences Vol:13.

Tahar, K., N. and A. Ahmad (2011). Capability of Low Cost Digital Camera for Production of Orthophoto and Volume Determination. 7th International Colloquium on Signal Processing and its Applications. Malaysia.

Tamada, M., M., et al. (2009). Uso Do Sistema De Informação Geográfica Como Ferramenta Auxiliar Para Tomada De Decisão: Aplicação À Pecuária Leiteira. VI CONVIBRA – Congresso Virtual Brasileiro de Administração. Rondônia-Brasil.

Thapa, K. and J. Bossler (1992). "Accuracy of Spatial Data Used in Geographic Information-Systems." Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 58(6): 835-841.

Vallet , J., et al. (2011). Photogrammetric Performance Of An Ultra Light Weight Swinglet "VANT". VANT-g (unmanned aerial vehicle in geomatics) conference. Zurich, Switzerland.

Watts, A., C. , et al. (2010). "Small Unmanned Aircraft Systems for Low-Altitude Aerial Surveys." Journal of Wildlife Management vol. 74(7):1614–1619.

Wolf, P. R. and B. A. Dewitt (2000). Elements of Photogrammetry: With Applications in Gis. ,McGraw-Hill Companies. .

Anexos

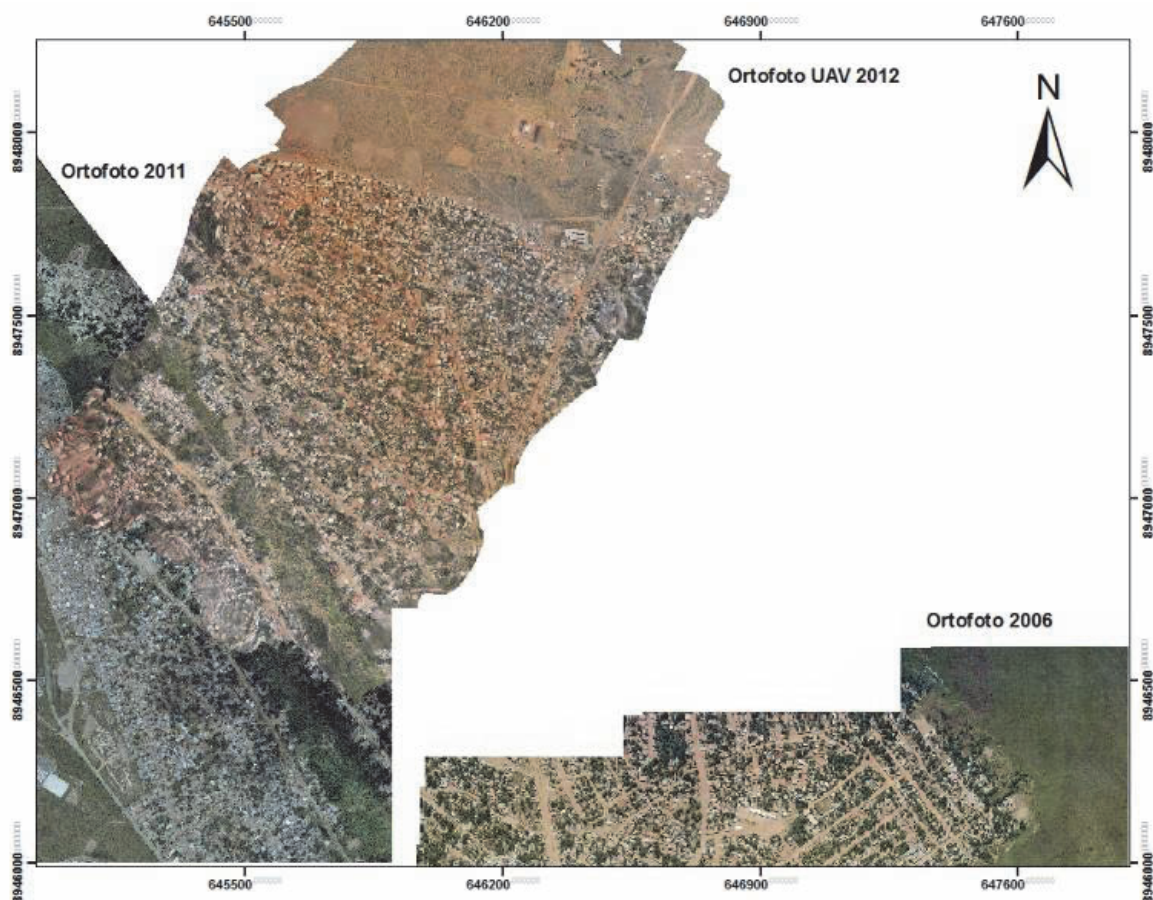
Anexo A

reas potenciais de emprego de VANTs para aplicao Civil. Adaptado, NASA(2006)

Missões em Ciencias da terra	
Interometria tepetida da superfcie	Medies de campos magnéticos
Observaes costeiras	Descargas fluviais
Incncios, Emissao,Dispersao de Plumas	equivalencia de neve com agua liquida
Composio e estrutura de vegetao	úmida de congelamento de solo
Dinâmica das geleiras	Observao de condies de tempo extremos
Mapeamento topogrfico	Furaces
Missões de Territrio e Missões Costeiras	
Agricultura de preciso	Identificao rastreamento de vida no mar
Gesto Urbana	Fauna bentnica em aguas rasas
Gesto de reservatrios	Acompanhamento em tempo real de incndios e desastres
Deteo de alteraes de habitats da vida selvagem	Avaliao pr e ps-evento de incndios e desastres
Contagem da populao para gesto da vida selvagem	Missões de telemetria para gesto da vida selgavem
Missões para Segurana Pblica	
Vigilncia marinha	Missões táticas em fronteiras
Vigilncia de grandes reas	Patrulha Costeira

Anexo B

Informao Geogrfica Existente na rea de estudo (ortofotos)



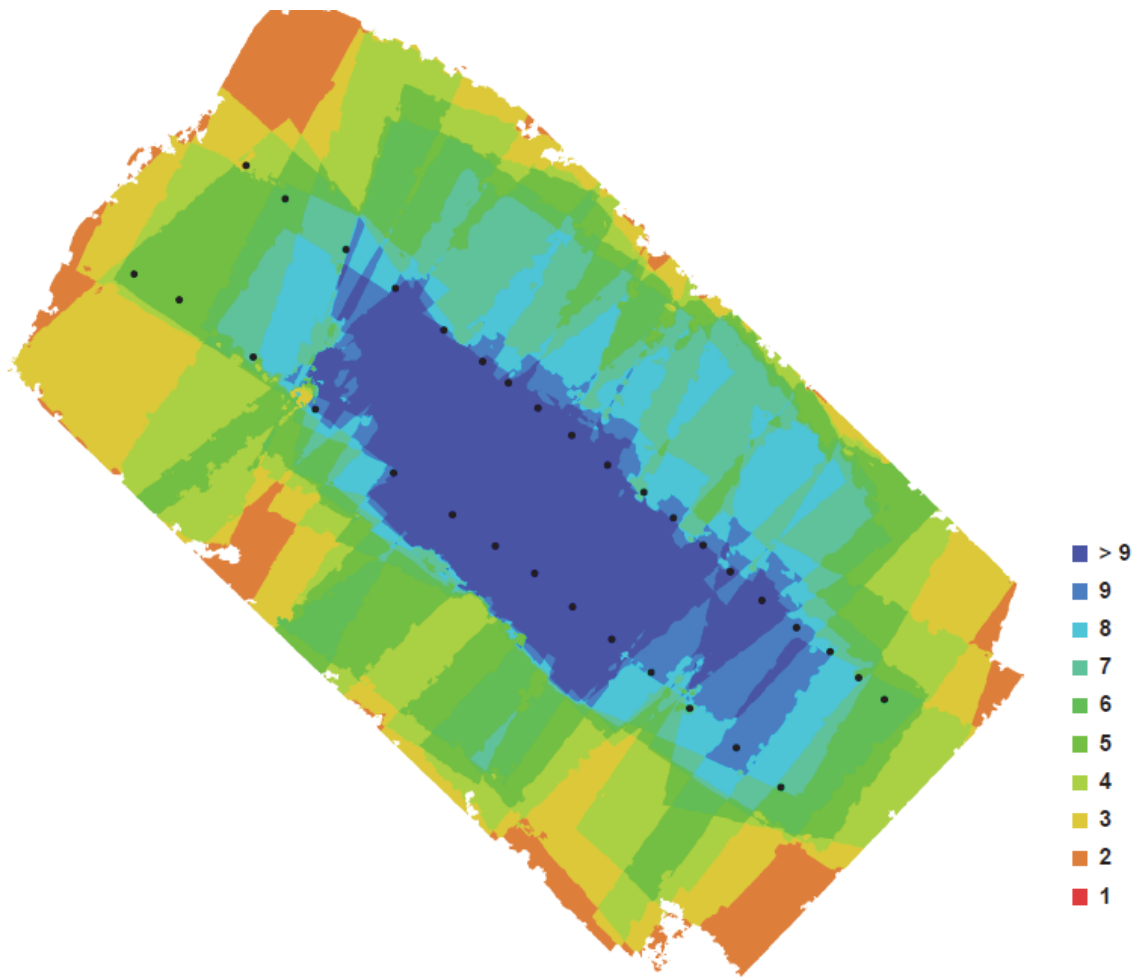
Anexo C

Distribuição dos pontos de controlo (Malanje)



Anexo D

Localização da Camara e sobreposição das imagens (Malanje)



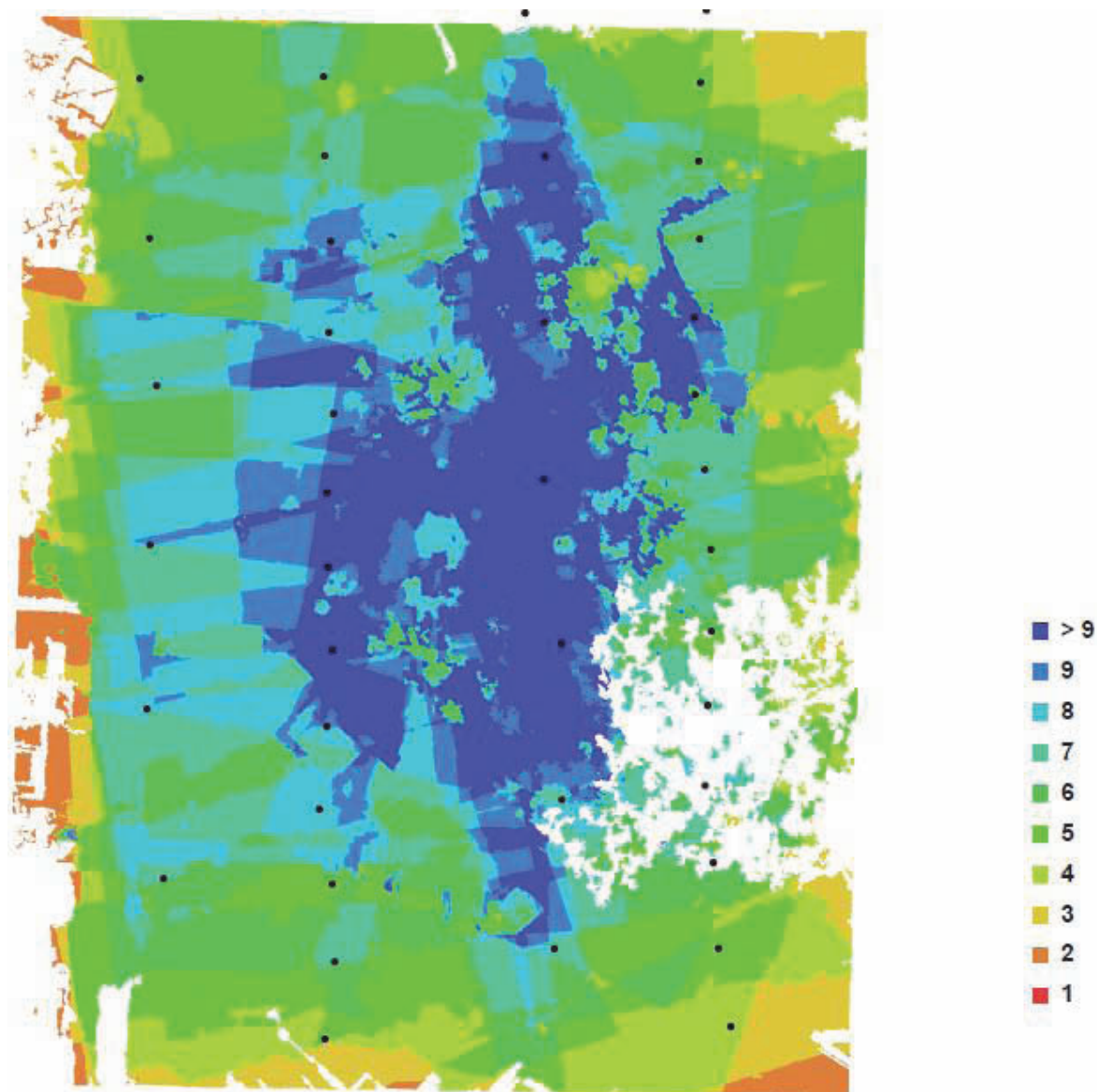
Anexo D

Distribuiçaõ dos pontos de controlo (Coimbra)



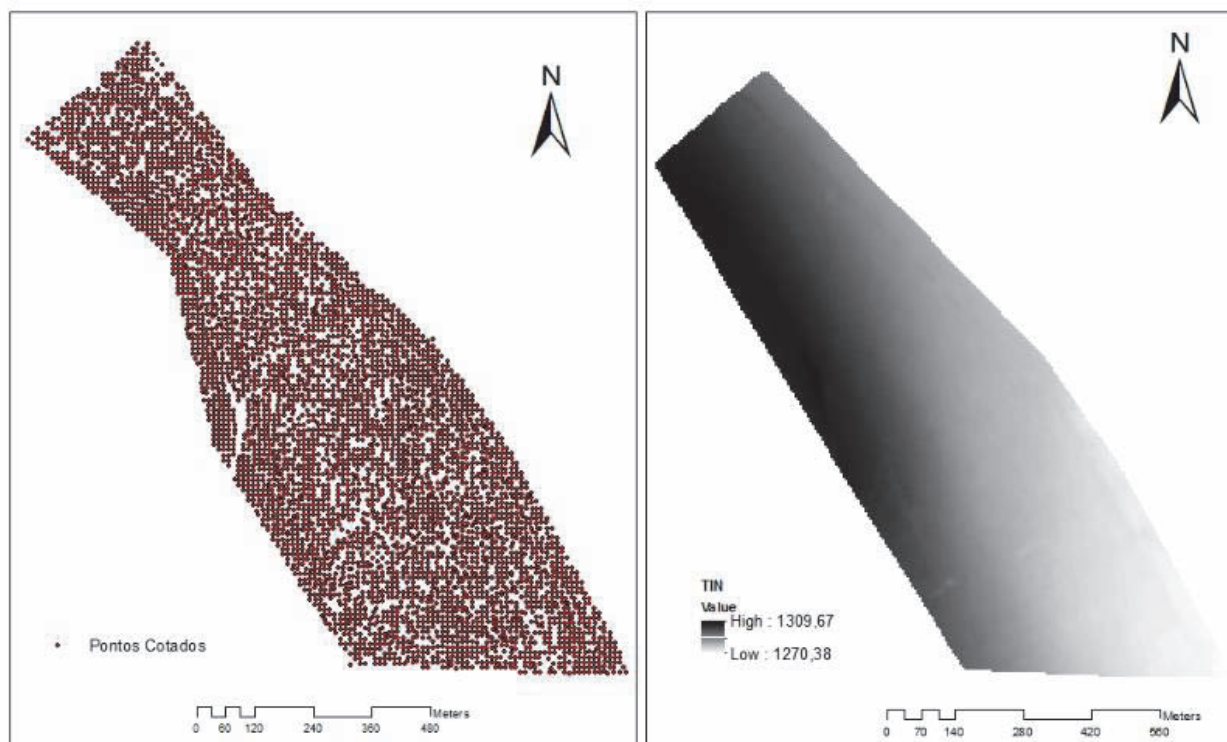
Anexo D

Localizaco da Camara e sobreposico das imagens (Coimbra)



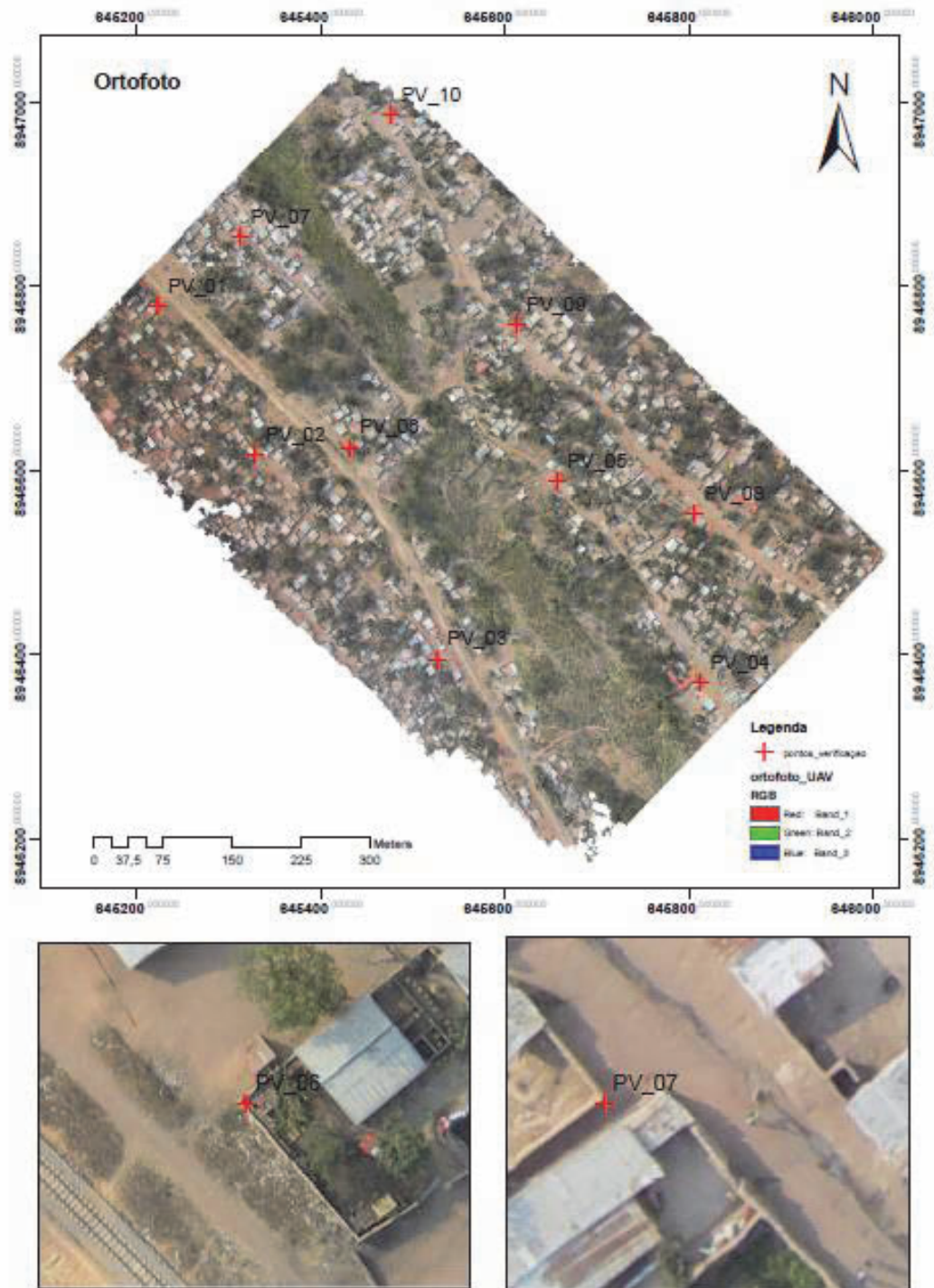
Anexo E

Pontos cotados e TIN da área de sobreposição entre o ortofoto de 2011 e as ortofoto obtido com imagens de VANT



Anexo F

Distribuição dos pontos de Controlo (avaliação da qualidade posicional)



Anexo G

Pontos de verificao Resultados obtidos na comparao das coordenadas Planimtricos com pontos de controlo extraídos do ortofoto de 2011(Malanje)

	Ortofoto_2011		Ortofoto_UAV_2012				
label	X	Y	X'	Y'	DX	DY	RMS(x,y)_GCP_orto2011
PV_01	645223,013	8946778,898	645222,030	8946779,287	0,9830	-0,3890	1,057
PV_02	645328,933	8946616,931	645328,893	8946616,979	0,0400	-0,0480	0,062
PV_03	645527,074	8946394,713	645527,587	8946394,443	-0,5130	0,2700	0,580
PV_04	645812,840	8946368,668	645813,316	8946367,199	-0,4760	1,4690	1,544
PV_05	645657,657	8946587,387	645658,148	8946587,657	-0,4910	-0,2700	0,560
PV_06	645431,803	8946624,821	645431,643	8946624,907	0,1600	-0,0860	0,182
PV_07	645312,906	8946853,353	645312,532	8946853,773	0,3740	-0,4200	0,562
PV_08	645806,545	8946552,258	645807,034	8946552,773	-0,4890	-0,5150	0,710
PV_09	645612,873	8946757,934	645612,926	8946758,586	-0,0530	-0,6520	0,654
PV_10	645476,681	8946986,968	645475,689	8946987,524	0,9920	-0,5560	1,137
Mdia					-0,007	-0,329	
Desv_Pad.					0,528	0,567	
RMS					0,167	0,379	

Resultados obtidos na comparao das coordenadas Planimtricos pontos de controlo extraídos do GoogleEarth (Malanje)

	Ortofoto_2011		Ortofoto_UAV_2012(GE)				
label	X	Y	X'	Y'	DX	DY	RMS(x,y)_GCP_GE
PV_01	645223,013	8946778,898	645228,015	8946778,726	-5,002	0,172	5,005
PV_02	645328,933	8946616,931	645335,376	8946616,226	-6,443	0,705	6,481
PV_03	645527,074	8946394,713	645534,225	8946394,320	-7,151	0,393	7,162
PV_04	645812,840	8946368,668	645819,587	8946367,455	-6,747	1,213	6,855
PV_05	645657,657	8946587,387	645664,071	8946587,398	-6,414	-0,011	6,414
PV_06	645431,803	8946624,821	645438,381	8946624,316	-6,578	0,505	6,597
PV_07	645312,906	8946853,353	645318,087	8946853,476	-5,181	-0,123	5,182
PV_08	645806,545	8946552,258	645812,663	8946552,474	-6,118	-0,216	6,122
PV_09	645612,873	8946757,934	645618,817	8946757,679	-5,944	0,255	5,949
PV_10	645476,681	8946986,968	645481,443	8946986,845	-4,762	0,123	4,764
Mdia					-6,266	0,214	
Desv_Pad.					0,7609	0,4050	
RMS					19,081	0,954	

Anexo G

Resultados obtidos na comparação das coordenadas altimétricas (Malanje)

label	Alt_TIN	Alt_DEM	D_alt	RMS_alt
pto_V01	1287,7168	1287,5250	0,1918	0,1918
pto_V02	1289,5438	1287,6976	1,8462	1,8462
pto_V03	1284,0409	1281,9969	2,0439	2,0439
pto_V04	1282,7573	1282,7922	-0,0349	0,0349
pto_V05	1279,4968	1280,4314	-0,9346	0,9346
pto_V06	1274,3095	1273,5221	0,7873	0,7873
pto_V07	1274,5481	1276,0656	-1,5175	1,5175
pto_V08	1275,9912	1276,7566	-0,7654	0,7654
pto_V09	1280,0543	1279,8256	0,2288	0,2288
pto_V10	1282,2059	1281,9590	0,2469	0,2469

Resultados obtidos na comparação das coordenadas Planimétricas (Coimbra)

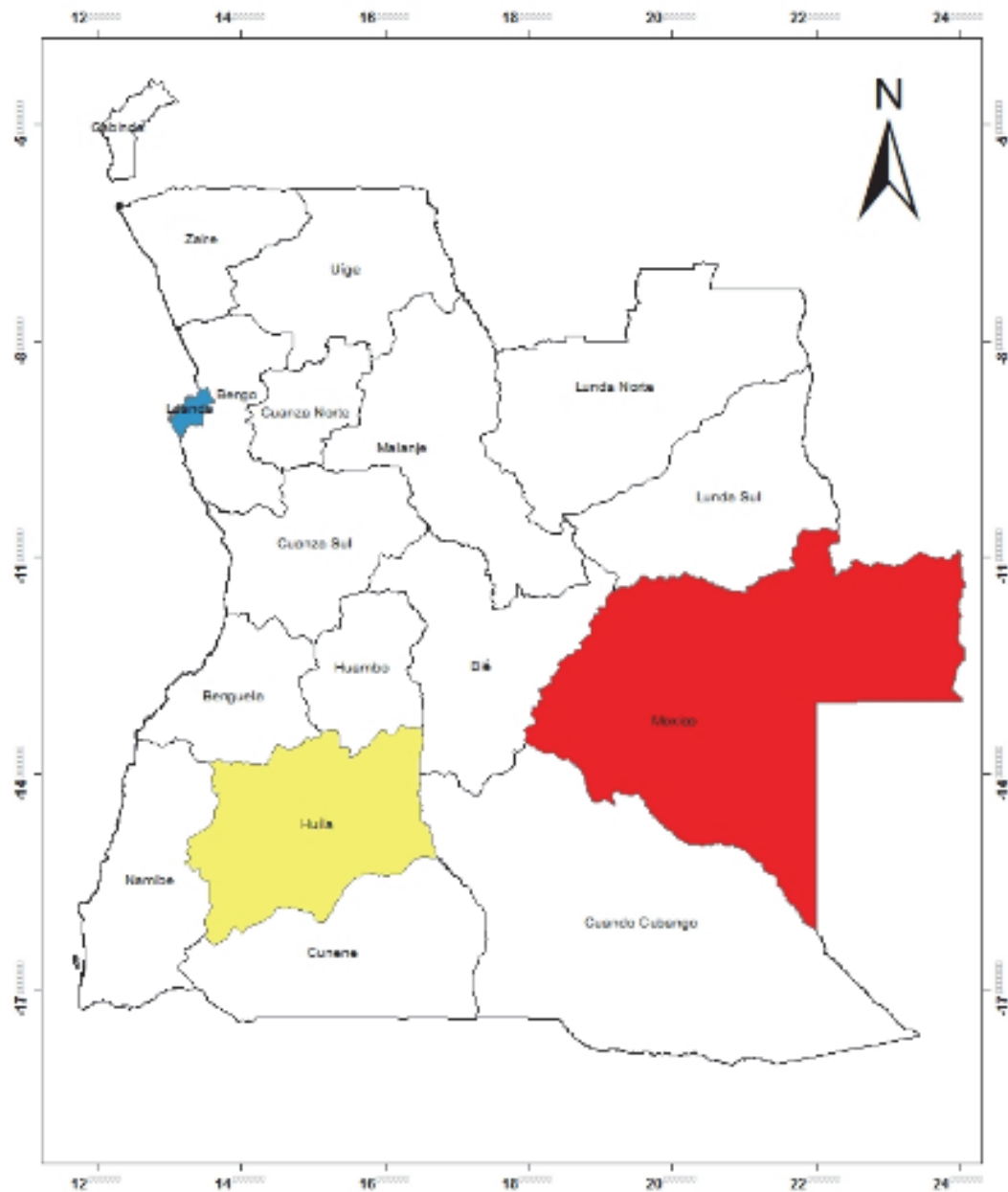
GCP label	X_gps	Y_gps	X' Orto_UAV	Y' Orto_UAV	DX	DY	RMS(x,y)
PF_GCP07	-24404,23700	60134,46300	-24404,107	60134,459	-0,1300	0,0040	0,130
PF_GCP08A	-24342,01900	60268,41700	-24342,124	60268,395	0,1050	0,0220	0,107
PF_GCP09A	-24250,03400	59988,79300	-24249,804	59987,944	-0,2300	0,8490	0,880
PF_GCP12A	-24186,43400	60173,56900	-24186,380	60173,733	-0,0540	-0,1640	0,173
PF_GCP14A	-24190,05000	60250,59600	-24189,965	60250,584	-0,0850	0,0120	0,086
PF_GCP15	-24189,65300	60101,81400	-24189,928	60102,679	0,2750	-0,8650	0,908
Média					-0,069	0,008	
Desv_Pad.					0,154	0,462	
RMS					0,049	0,058	

Resultados obtidos na comparação das coordenadas altimétricas (Coimbra)

GCP label	Z_gps	Z_'Orto_UAV	DZ	rms_Z
PF_GCP07	66,07200	66,13955	-0,0675	0,068
PF_GCP08A	89,05500	88,90081	0,1542	0,154
PF_GCP09A	89,38400	89,36430	0,0197	0,020
PF_GCP12A	82,25000	81,34183	0,9082	0,908
PF_GCP14A	81,27100	81,10580	0,1652	0,165
PF_GCP15	80,13400	79,49724	0,6368	0,637
Média			0,160	
Desv_Pad.			0,350	
RMS			0,742	

Anexo H

Províncias com existência de SIG Municipais implementados



Anexo I

Tabela de Atributo das edificações de 2011

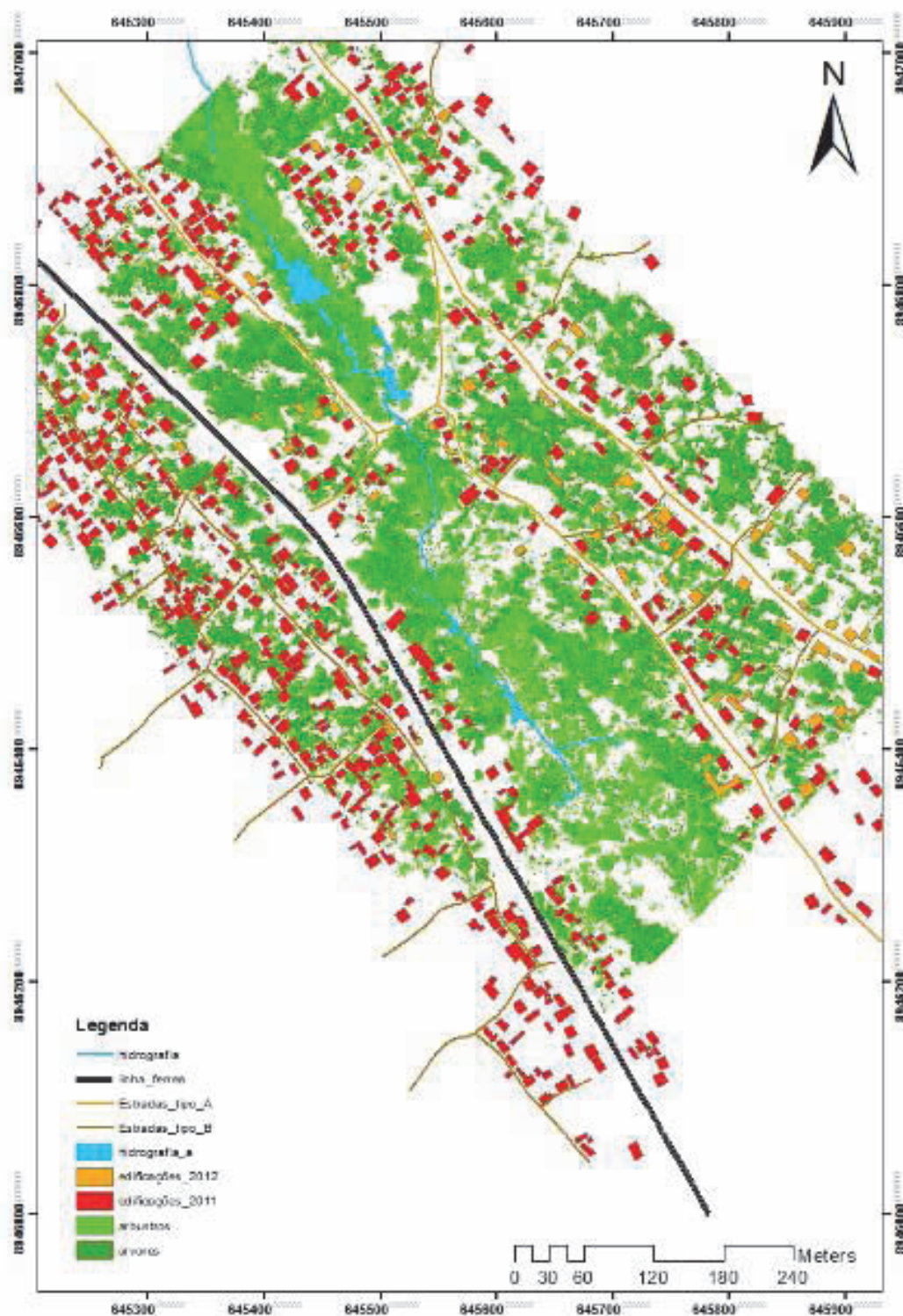
Table

edificações_2011

	OBJECTID	SHAPE *	SHAPE Length	SHAPE Area	Numero Policia	Tipo	Finalidade	Agregado familia
	1	Polygon	35,708453	79,429837	<Null>	<Null>	Residencia	<Null>
	2	Polygon	34,211218	62,811542	<Null>	<Null>	Residencia	<Null>
	3	Polygon	24,122505	34,158218	<Null>	<Null>	Residencia	<Null>
	4	Polygon	31,1236	57,635756	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
	5	Polygon	38,497668	92,55732	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
	6	Polygon	10,081674	6,322654	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
	7	Polygon	9,84327	5,697911	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
	8	Polygon	15,637422	15,067442	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
	9	Polygon	14,49134	12,9144	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
	10	Polygon	0,185722	0,001155	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
	11	Polygon	34,250868	72,357807	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
	12	Polygon	35,451858	77,893894	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
	13	Polygon	23,218448	33,108258	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
	14	Polygon	27,217472	43,585087	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
	15	Polygon	28,705451	43,766263	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
	16	Polygon	32,232742	64,865322	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
	17	Polygon	39,641819	95,794657	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
	18	Polygon	23,582867	32,396786	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
	19	Polygon	32,068937	63,597211	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
	20	Polygon	40,866267	99,705722	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
	21	Polygon	39,664298	97,721715	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
	22	Polygon	27,228382	46,272917	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
	23	Polygon	35,045135	75,498458	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
	24	Polygon	29,814778	53,061048	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
	25	Polygon	28,675444	49,672113	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
	26	Polygon	32,818003	66,954043	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>

Anexo J

Sobreposição da informação contida da base de dados



Anexo L

Especificações Técnicas



Exatidão e precisão posicionais para a cartografia nas escalas 1:1000, 1:2000, 1:5000 e 1:10 000

Escala da Carta / Escala do Voo		1:1 000 / 1:4 500	1:2 000 / 1:7 500	1:5 000 / 1:15 000	1:10 000 / 1:22 500
Equidistância das curvas de nível		1,00	2,00	2,50	5,00
Apoio Fotogramétrico	Planimetria	EMQ _u <=	0,05	0,08	0,25
		99% dos pontos da amostra têm de apresentar um desvio em M < 2.576* EMQ _u	0,13	0,21	0,60
		EMQ _p <=	0,05	0,08	0,25
		99% dos pontos da amostra têm de apresentar um desvio em P < 2.576* EMQ _p	0,13	0,21	0,60
		Se $n = \sqrt{(EMQ_u^2 + EMQ_p^2)}$, então EMQ _r <=	0,07	0,11	0,30
		99% dos pontos da amostra têm de apresentar um desvio em r < (3.035/SQR(2))* EMQ _r	0,15	0,24	0,70
	Altimetria	EMQ _z <=	0,10	0,14	0,35
		99% dos pontos da amostra têm de apresentar um desvio em Z < 2.576* EMQ _z	0,26	0,38	0,95
	Triangulação Aérea	EMQ _u <=	0,05	0,10	0,25
		O valor do desvio padrão em cada ponto <=	0,15	0,28	0,60
		EMQ _p <=	0,05	0,10	0,25
		O valor do desvio padrão em cada ponto <=	0,15	0,28	0,60
		O valor à posteriori do desvio padrão da unidade de peso em M e P <=	0,10	0,16	0,30
Orientação absoluta dos Modelos	Planimetria	Desvio máximo <=	0,15	0,25	0,50
		Desvio médio <=	0,18	0,30	0,75
	Altimetria	Desvio máximo <=	0,15	0,25	0,50
		Desvio médio <=	0,18	0,30	0,75
	Diferença entre pontos da TA e pontos de verificação	Desvio planimétrico <=	0,18	0,30	0,75
		Desvio altimétrico <=	0,20	0,35	0,95
Redutibilidade Tridimensional	Curvas de nível e elementos da hidrografia 3D	EMQ _z <=	0,25	0,40	1,00
		90% dos pontos da amostra têm de apresentar um desvio em Z < 1.645* EMQ _z	0,41	0,65	1,65
	Pontos cotados	EMQ _z <=	0,15	0,25	0,40
		90% dos pontos da amostra têm de apresentar um desvio em Z < 1.645* EMQ _z	0,25	0,40	0,70
MNA	Faixa envolvente		100,00	200,00	500,00
	Cotas dos pontos da grid	EMQ _z <=	0,30	0,45	1,10
		90% dos pontos da amostra têm de apresentar um desvio em Z < 1.645* EMQ _z	0,49	0,75	1,80
	Espaçamento da grid		2,00	4,00	7,50
ORTOS	Planimetria Digital	EMQ _u <=	0,18	0,30	0,75
		90% dos desvios da amostra têm de apresentar um desvio r < 1.517* EMQ _u	0,27	0,45	1,25
	Planimetria - Saídas Gráficas	EMQ _u <=	0,20	0,40	1,20
		90% dos desvios da amostra têm de apresentar um desvio <=	0,35	0,70	2,10
MNT (Nas escalas 1:1000, 1:2000 e 1:5000 tem a designação de MNTC)	Planimetria Digital	Grupo A - EMQ _u <=	0,00	0,00	0,00
		Grupo B - EMQ _u <=	0,18	0,30	0,75
		Grupo B - 90% dos desvios da amostra têm de apresentar um desvio r < 1.517* EMQ _u	0,27	0,45	1,25
		Grupo A - EMQ _u <=	0,30	0,60	1,05
	Planimetria - Saídas Gráficas	Grupo A - 90% dos desvios da amostra têm de apresentar um desvio <=	0,45	0,90	1,60
		Grupo B - EMQ _u <=	0,40	0,80	1,40
		Grupo B - 90% dos desvios da amostra têm de apresentar um desvio <=	0,60	1,20	2,35
		Grupo A - EMQ _u <=	0,60	1,20	2,35

Anexo M

Tabela T Student

t distribution critical values												
	Upper-tail probability <i>p</i>											
df	.25	.20	.15	.10	.05	.025	.02	.01	.005	.0025	.001	.0005
1	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.71	15.89	31.82	63.66	127.3	318.3	636.6
2	0.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	4.849	6.965	9.925	14.09	22.33	31.60
3	0.765	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	3.482	4.541	5.841	7.453	10.21	12.92
4	0.741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	2.999	3.747	4.604	5.598	7.173	8.610
5	0.727	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	2.757	3.365	4.032	4.773	5.893	6.869
6	0.718	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	2.612	3.143	3.707	4.317	5.208	5.959
7	0.711	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.517	2.998	3.499	4.029	4.785	5.408
8	0.706	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.449	2.896	3.355	3.833	4.501	5.041
9	0.703	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.398	2.821	3.250	3.690	4.297	4.781
10	0.700	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.359	2.764	3.169	3.581	4.144	4.587
11	0.697	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.328	2.718	3.106	3.497	4.025	4.437
12	0.695	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.303	2.681	3.055	3.428	3.930	4.318
13	0.694	0.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.282	2.650	3.012	3.372	3.852	4.221
14	0.692	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.264	2.624	2.977	3.326	3.787	4.140
15	0.691	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.249	2.602	2.947	3.286	3.733	4.073
16	0.690	0.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.235	2.583	2.921	3.252	3.686	4.015
17	0.689	0.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.224	2.567	2.898	3.222	3.646	3.965
18	0.688	0.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.214	2.552	2.878	3.197	3.611	3.922
19	0.688	0.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.205	2.539	2.861	3.174	3.579	3.883
20	0.687	0.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.197	2.528	2.845	3.153	3.552	3.850
21	0.686	0.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.189	2.518	2.831	3.135	3.527	3.819
22	0.686	0.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.183	2.508	2.819	3.119	3.505	3.792
23	0.685	0.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.177	2.500	2.807	3.104	3.485	3.768
24	0.685	0.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.172	2.492	2.797	3.091	3.467	3.745
25	0.684	0.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.167	2.485	2.787	3.078	3.450	3.725
26	0.684	0.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.162	2.479	2.779	3.067	3.435	3.707
27	0.684	0.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.158	2.473	2.771	3.057	3.421	3.690
28	0.683	0.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.154	2.467	2.763	3.047	3.408	3.674
29	0.683	0.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.150	2.462	2.756	3.038	3.396	3.659
30	0.683	0.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.147	2.457	2.750	3.030	3.385	3.646
40	0.681	0.851	1.050	1.303	1.684	2.021	2.123	2.423	2.704	2.971	3.307	3.551
50	0.679	0.849	1.047	1.299	1.676	2.009	2.109	2.403	2.678	2.937	3.261	3.496
60	0.679	0.848	1.045	1.296	1.671	2.000	2.099	2.390	2.660	2.915	3.232	3.460
80	0.678	0.846	1.043	1.292	1.664	1.990	2.088	2.374	2.639	2.887	3.195	3.416
100	0.677	0.845	1.042	1.290	1.660	1.984	2.081	2.364	2.626	2.871	3.174	3.390
1000	0.675	0.842	1.037	1.282	1.646	1.962	2.056	2.330	2.581	2.813	3.098	3.300
z*	0.674	0.841	1.036	1.282	1.645	1.960	2.054	2.326	2.576	2.807	3.091	3.291
	50%	60%	70%	80%	90%	95%	96%	98%	99%	99.5%	99.8%	99.9%